

RIVISTA MILITARE



FASCICOLO TECNICO FANTERIA

MINISTERO DELLA DIFESA-ESERCITO
DIREZIONE E AMMINISTRAZIONE: ROMA, VIA DI S. MARCO 8

ANNO VII

LUGLIO 1951

RIVISTA MILITARE

FASCICOLO TECNICO

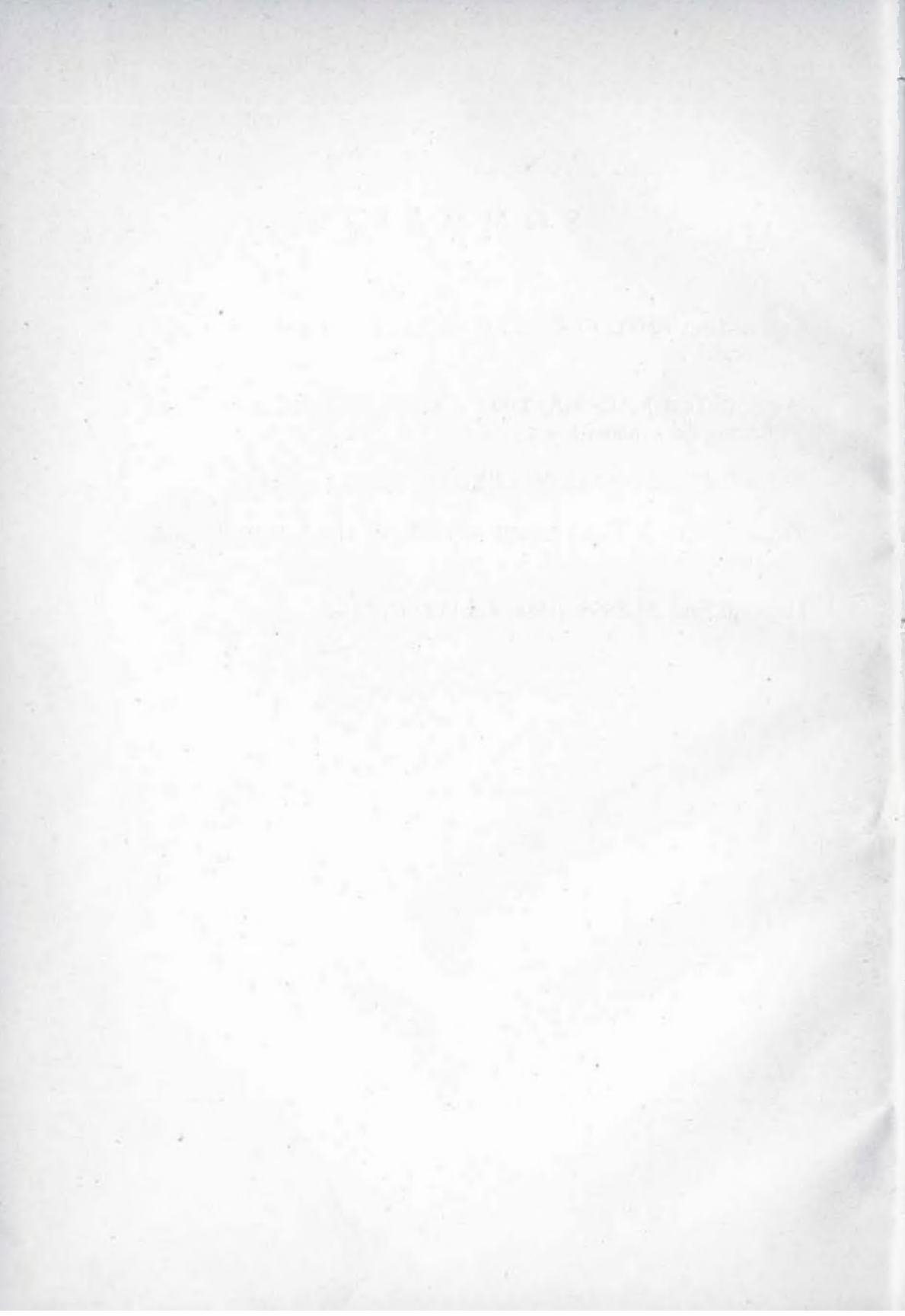
FANTERIA

R O M A

VIA DI S. MARCO, 8

S O M M A R I O

	<i>Pagina</i>
Cap. di fant. ENZO CORSELLI: La carica cava nella difesa controcarri	5
Magg. (S.Te.A.) ALESSANDRO d'ALESSANDRO: La balistica interna dei cannoni senza rinculo	20
Ten. col. di fant. GERARDO LIBERTI: Bombe a mano	42
Ten. col. d'art. (S.Te.A.) LUIGI PETRONE: Meccanica delle armi automatiche	55
Magg. di fant. ALESSANDRO GRAZIANI: Della canna	74



LA CARICA CAVA NELLA DIFESA CONTROCARRI

Cap. di fant. Enzo Corselli

Il mezzo corazzato, nell'ultima guerra, ha assunto un ruolo di primo piano sul campo di battaglia, anche perchè molti teatri di operazioni si prestavano particolarmente al suo impiego: pianure polacche, serir africano, step-pa russa, ecc..

La più efficace arma c.c. è costituita dal carro stesso.

Ma i reparti di fanteria non possono sperare di avere sempre ad immediata disposizione ed in misura sufficiente carri - caccia carri, e quand'anche ciò fosse, la fanteria deve possedere un armamento autosufficiente per poter assolvere i suoi compiti con le armi in normale dotazione.

Le armi che più si prestano alla difesa e all'offesa ravvicinata c.c. sono il lanciafiamme e quelle che impiegano munizioni a carica cava.

Esclusa la trattazione del lanciafiamme, arma a sè stante, scopo della presente trattazione è quello di esaminare le caratteristiche tecniche delle cariche cave e le possibilità d'impiego da esse derivate.

TEORIA DELLA CARICA CAVA.

Il fenomeno dell'esplosione determina uno sviluppo di grande volume di gas e di calore in spazio e tempo ristretti.

La pressione generata dallo sviluppo dei gas si esercita in tutte le direzioni, ed allontanandosi dall'origine diminuisce proporzionalmente al cubo del raggio della sfera di esplosione.

Cambiando forma alla carica esplosiva, si altera anche la forma dell'espansione gassosa e quindi l'effetto che essa può produrre.

Così mentre la carica cubica genera sviluppo di gas che si espandono in tutte le direzioni, secondo sfere concentriche aventi centro ed origine nel punto d'innesco della carica stessa, la carica allungata produce l'espansione gassosa, ed esercita la conseguente pressione, secondo ellissoidi. Inoltre i gas sviluppati tendono a convogliarsi verso le direzioni di minore resistenza.

Se si fa infatti esplodere una carica entro un mezzo resistente provvisto di un'apertura, i gas che si sviluppano si convoglieranno verso tale apertura, e la loro espansione assumerà così una direzione determinata.

Tale principio è utilizzato nelle armi da fuoco.

Se si fa brillare una carica esplosiva su una lastra d'acciaio, innescandola dalla parte opposta a quella corrispondente alla superficie di contatto, si otterrà, entro determinati rapporti del peso della carica e dello spessore della corazza, una deformazione di questa in corrispondenza della superficie di contatto con la carica. Ciò perchè la maggior parte dei gas sviluppati dall'esplosione hanno trovato sfogo in direzioni divergenti o tangenziali alla superficie di appoggio, mentre i gas sviluppati dagli strati inferiori della carica in corrispondenza con la superficie di contatto con la corazza hanno prodotto la deformazione di questa, ma, nel contempo, si sono opposti all'azione degli strati superiori su di essa.

Se invece, nella stessa carica si pratica una cavità di forma opportuna, in corrispondenza della superficie di contatto con la corazza, e si innesca dalla faccia opposta, ad esplosione avvenuta si potranno osservare sulla corazza deformazioni meno estese delle precedenti, ma ben più profonde, che ne determinano, o tendono a determinarne, la perforazione.

Si è così ottenuto un effetto concentrato, dovuto alla cavità praticata nella carica. Infatti tale cavità ha costituito una via di facilitazione per i gas sviluppati dall'esplosione, con conseguente convogliamento della massima parte di questi. Inoltre la cavità ha aumentato la superficie di emissione dei gas, rendendone possibile lo sviluppo di un maggior volume nell'unità di tempo.

Questa la spiegazione sommariamente intuitiva del fenomeno.

Esperienze pratiche, condotte in parallelo con calcoli analitici, hanno indicato le forme più idonee da far assumere alle cavità, per ottenere la maggiore concentrazione dell'effetto dell'esplosione, e quindi per raggiungere valori massimi delle perforazioni.

Parecchi hanno voluto attribuirsi la scoperta di questo particolare comportamento delle cariche cave, senza per altro darne una spiegazione esauriente.

Gli Americani l'hanno chiamato « effetto Munroe » dal nome del prof. Munroe, che condusse esperienze in proposito sui risultati delle quali pubblicò una memoria illustrativa nel 1888.

Gli Europei « effetto Neuman » dal nome del fisico tedesco Neuman che, per conto della Società Wasag, curò una serie di esperimenti e brevettò il sistema nel 1910, tentando di spiegarlo con leggi analoghe a quelle che regolano il cammino ottico dei raggi riflessi e rifratti.

Sembra però che, prima ancora che se ne occupassero i fisici ed i matematici, zingari e marinai utilizzassero cariche incavate empiricamente per imprimere, su piastre metalliche, disegni e scritte preincisi su cubi di esplosivo.

I Tedeschi impiegarono per primi le cariche cave per uso bellico.

Paracadutisti della Wehrmacht, atterrati sulla sommità del forte belga Eben Emael l'11 maggio 1940, fecero esplodere cariche cave fisse sulle cupole corazzate, ottenendone la netta perforazione e la eliminazione dei difensori. La sorpresa e gli effetti morali furono tali, da consentire ad esili reparti di fanteria di occupare il forte prima ancora dell'intervento dei rinforzi.

Successivamente, sempre con effetti tattici notevoli, le cariche cave furono impiegate contro i forti delle propaggini settentrionali della linea Maginot.

Col proseguire delle operazioni belliche, le cariche cave vennero utilizzate dai vari eserciti in campo, sotto forma di bombe a mezzo di vari dispositivi di lancio e dalle artiglierie con i proietti EP ed EPS.

Ancor oggi l'effetto Neuman non può essere spiegato e definito con procedimenti del tutto matematici. Però le esperienze pratiche hanno consentito di individuare gli esplosivi che danno i migliori rendimenti nell'allestimento delle cariche cave (tritolite, pentrolite, T₄ plastico), ed i calcoli integrati dalle esperienze consentono di tracciare, come vedremo, la forma più opportuna con la quale modellare la cavità per raggiungere massimi effetti di perforazione col minimo quantitativo di esplosivo impiegato.

L'ESPLORAZIONE DELLA CARICA CAVA.

Il fenomeno dell'esplosione è di natura chimica e di natura fisica.

Infatti all'atto del brillamento di una carica, a partire dall'innesco, si genera uno *spostamento*, che produce la dilatazione della massa dell'esplosivo e la sua rapidissima trasformazione chimica. Si è così verificata « l'onda esplosiva » o « spostamento esplosivo », dovuto ad una rapidissima reazione chimica a carattere lineare.

Nel tempuscolo successivo si verifica « l'onda di propagazione dell'esplosivo nel mezzo », aspetto fisico del fenomeno, che, entro determinate distanze, osserva le leggi fisiche della propagazione delle onde sonore.

Il fronte esplosivo, ossia la forma dello spostamento esplosivo è, come si è detto, generalmente ad andamento sferico, con centro ed origine nel punto di innesco. La velocità dello spostamento è ormai nota per ogni esplosivo.

L'onda di propagazione dell'esplosivo nel mezzo, non può calcolarsi con la formula della velocità del suono, perchè segue le leggi fisiche a questo relative, limitatamente a determinate distanze e si diversifica per altre, mentre il mezzo di propagazione non è completamente definibile in ogni suo elemento. Si determina perciò con metodi sperimentali.

La trattazione analitica del problema, per poter essere impostata, deve avvalersi di ipotesi semplificative:

1° - si suppone la velocità di detonazione V_0 (che non lo è, specie all'innesco ed in prossimità di questo), costante in tutta la massa dell'esplosivo;

2° - l'innesco si suppone puntiforme, pur avendo dimensioni finite;

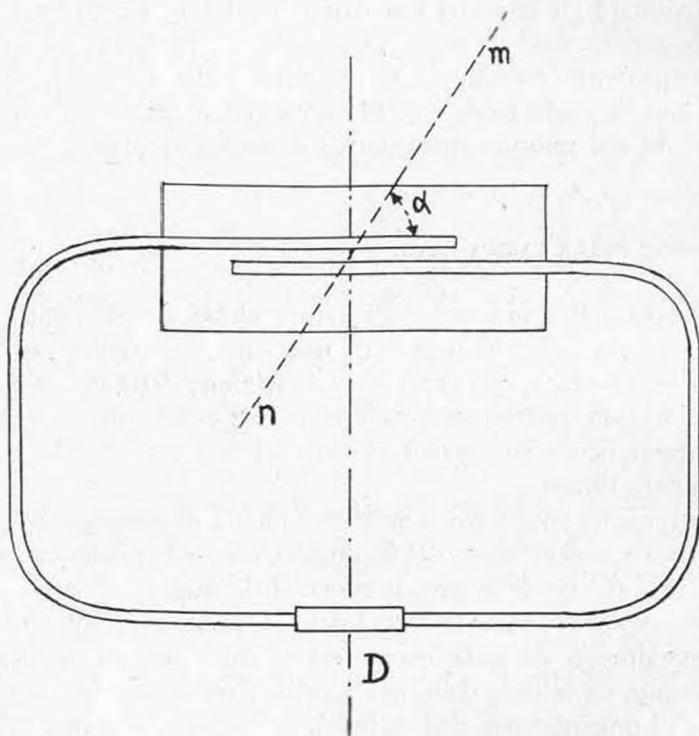
3° - vengono omessi i fenomeni secondari, che si producono col passaggio dell'onda esplosiva in mezzi diversi.

Comunque le calcolazioni valgono a dare una *forma base* alla cavità, forma che si affina con esperienze successive.

VELOCITÀ DELL'ONDA DI PROPAGAZIONE (V_p).

Per la misurazione di tale velocità ci si avvale dello stesso dispositivo sperimentale, impiegato, per la misura delle velocità di detonazione dei vari esplosivi, col metodo Deutriche.

Il sistema può così schematizzarsi:



Innescando ai due estremi opposti due identici elementi di miccia detonante, i cui secondi estremi poggiano su una lastra di piombo di opportuno spessore, si otterranno all'atto dell'esplosione due impronte parallele incise sulla lastra, lasciate dalle micce, ed una trasversale che forma con esse l'angolo α , che rappresenta la traccia della collisione avvenuta tra i due fronti d'onda.

Infatti mentre l'esplosione procedeva lungo gli elementi di miccia con la velocità V_e , i fronti d'onda procedenti uno incontro all'altro, si sono incontrati con velocità V_p determinando la traccia mn .

Considerando V_p e V_e costanti si avrà:

$$\text{sen } \alpha = \frac{V_p t}{V_e t}$$

dove $V_p t$ e $V_e t$ rappresentano gli spazi percorsi, dopo il tempo t , dall'onda di propagazione e dalla detonazione lungo la miccia, per cui:

$$\sin \alpha = \frac{V_p t}{V_e t} = \frac{V_p}{V_e}$$

quindi conoscendo i valori di α e V_e (la velocità di detonazione delle micce si misura con i cronografi), si può ricavare:

$$V_p = V_e \sin \alpha$$

Per gli esplosivi a forte velocità di detonazione, interessanti le cariche cave, si sono determinati i valori di α , e ponendo:

$$\sin \alpha = K,$$

si è ottenuto:

tritolite	50/50	— $K = 0,57$
pentrolite	50/50	— $K = 0,54$
T4 plastico		— $K = 0,52$

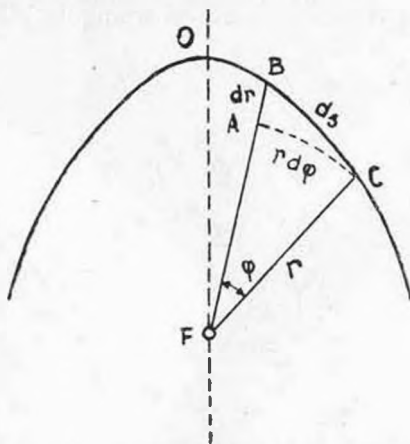
LA RISOLUZIONE ANALITICA.

Si può accennare ad uno dei metodi di risoluzione analitica delle cariche cave, procedendo per gradi e cioè trattando successivamente:

- il caso teorico di una carica lineare ad effetto concentrato;
- il caso teorico di una carica lamellare di analoghe caratteristiche;
- il caso di una carica cava propriamente detta (avente spessore).

I. - Carica lineare ad effetto concentrato.

Se si dispone una miccia detonante, innescata ad una estremità, secondo



una certa curva, all'atto della detonazione si verificherà un fronte d'onda secondo l'andamento di tale curva.

Le onde di propagazione, partendo successivamente dai vari punti della miccia, potranno tendere a convergere verso un punto unico della curva chiamato « fuoco di convergenza ».

Perchè ciò si verifichi, occorre che l'andamento della miccia abbia un opportuno raggio di curvatura:

— considerando il tratto BC della miccia, la curva da far assumere ad essa deve essere tale da soddisfare alla condizione che il tempuscolo impiegato dall'onda esplosiva per propagarsi da B in F , equivalga a quello impiegato dall'onda esplosiva che si propaga con pari velocità V_p da C ad F , più il tempuscolo relativo allo spostamento esplosivo che si verifica lungo la miccia da B a C . Cioè:

$$\frac{BC}{V_e} + \frac{CF}{V_p} = \frac{BF}{V_p}$$

$$\frac{BC}{V_e} = \frac{BF}{V_p} - \frac{CF}{V_p}$$

per cui:

$$\frac{ds}{V_e} = \frac{dr}{V_p} ; dr = \frac{V_p}{V_e} ds$$

Considerando costanti V_p e V_e avremo che:

$$\frac{V_p}{V_e} = \sin \alpha = K$$

per cui:

$$dr = K ds ; ds = \frac{dr}{K}$$

Applicando il teorema di Pitagora al triangolo ABC avremo che:

$$ds^2 = dr^2 + r^2 d\varphi^2$$

$$\frac{dr^2}{K^2} = dr^2 + r^2 d\varphi^2$$

$$\frac{dr^2}{K^2} - dr^2 = r^2 d\varphi^2$$

$$dr^2 \left(\frac{1}{K^2} - 1 \right) = r^2 d\varphi^2$$

$$\frac{dr}{r} = \sqrt{\frac{K^2}{1-K^2}} d\varphi$$

Integrando si perviene all'equazione:

[1]

$$r = r^0 e^{C\varphi}$$

nella quale:

r^0 rappresenta il raggio vettore iniziale, e è la base dei logaritmi neperiani, φ è l'angolo espresso in radianti, e

$$C = \sqrt{\frac{K^2}{1-K^2}};$$

l'equazione corrisponde ad una curva avente le caratteristiche della spirale logaritmica di Archimede.

Nella pratica il raggio r , determinato risolvendo la suddetta equazione, comporta un certo spostamento del fuoco F , rispetto a quello teorico, di circa 2 cm.. Ciò perchè la velocità di propagazione V , non è praticamente costante, ma i raggi vettori più lunghi producono un maggiore ritardo.

Di tale differenza è necessario tener conto nel tracciare la curva pratica, in modo da ottenere la coincidenza del fuoco pratico con quello geometrico.

II. - Carica lamellare.

Facendo ruotare il tratto di curva determinata con la [1] compresa fra i valori di $\varphi = 0$ e $\varphi = \frac{\pi}{2}$ intorno all'asse di simmetria contenente il fuoco, si otterrà una superficie di rivoluzione, con caratteristiche rispondenti a quelle della curva generatrice.

Si otterrebbe così una carica avente spessore minimo di pareti, detta *carica lamellare*.

Per essa si verifica che le onde di propagazione partenti dai vari elementi di figura andranno, analogamente a quanto avveniva per la carica lineare esaminata, a passare per il fuoco.

Si può costruire la curva generatrice della cavità, usando l'equazione [1], per coordinate polari, sostituendo la miccia con una superficie esplosiva ed innescandola al vertice:

$$r \frac{\pi}{8} = r^0 e^{C \frac{\pi}{8}}; \quad r \frac{\pi}{4} = r^0 e^{C \frac{\pi}{4}}$$

III. - Carica cava.

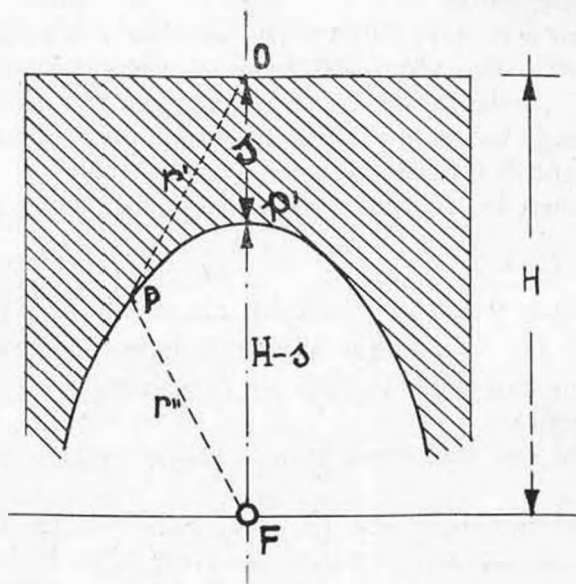
Se attribuiamo alla carica lamellare un certo spessore di pareti, otteniamo una *carica cava reale*. Il valore di tale spessore si varierà opportunamente in relazione agli effetti da raggiungere.

Immaginiamo perciò la carica cava, come risultante dalla sovrapposizione di cariche lamellari.

In una carica così fatta, la trasformazione chimica, e quindi lo spostamento esplosivo da questa prodotta, ha un comportamento diverso; la curva generatrice della cavità che convoglia gli effetti dell'esplosione su un unico fuoco F , non corrisponde più all'equazione [1] e quindi alla forma della spi-

rale di Archimede, bensì ad una equazione corrispondente ad una curva detta « isoesplosiva ».

Tale equazione si ricava considerando che, in una carica avente spessore, il tempo impiegato dall'azione di spostamento esplosivo per raggiungere il punto P della curva delimitatrice della cavità interna, più quello impiegato dall'onda di propagazione per raggiungere il fuoco F deve essere considerato costante.



Considerando la figura avremo:

$$\frac{OP}{V_e} + \frac{PF}{V_p} = \frac{r'}{V_e} + \frac{r''}{V_p} = \text{costante}$$

In particolare per il punto P' avremo:

$$\frac{OP'}{V_e} + \frac{P'F}{V_p} = \frac{s}{V_e} + \frac{H-s}{V_p} = \text{costante, da cui eguagliando:}$$

$$\frac{r'}{V_e} + \frac{r''}{V_p} = \frac{s}{V_e} + \frac{H-s}{V_p} \text{ e poichè } \frac{V_p}{V_e} = \sin \alpha = K:$$

$$Kr' + r'' = Ks + (H - s)$$

$$[2] \quad Kr' + r'' = H - s(1 - K)$$

Tale equazione, chiamata « della curva isoesplosiva », definisce una curva che ha le caratteristiche dell'ovale di Cartesio e consente la sua definizione grafica.

Infatti, scelto a priori s in base all'entità degli effetti da raggiungere e con centro in O , si traccia la circonferenza di raggio $r' = s$; con centro in F si traccia la circonferenza di raggio r'' , il cui valore si ricava dall'equazione [2].

I punti P e P' sono punti della curva isoesplosiva, in quanto soddisfano l'equazione. Tale curva è simmetrica rispetto all'asse OF .

Per rotazione di tale curva intorno ad OF otterremo il contorno interno della cavità della carica.

Il contorno esterno della carica si ottiene ponendo $s = 0$, per cui la [2] diventa:

$$r'' = H - Kr' ; \quad r' = \frac{H - r''}{K}$$

Per rivoluzione dei due contorni esterno ed interno intorno all'asse comune OF , si delimita un interspazio, che riempito di esplosivo realizza la carica cava monofocale.

Cariche cave monofocali e polifocali.

Nella carica cava monofocale si ha un fuoco geometrico unico, in cui concorrono gli effetti delle cariche elementari che la compongono, però non contemporaneamente, in quanto il tempo impiegato al verificarsi sul fuoco dell'azione della carica lamellare del contorno esterno, e via via di quelle che costituiscono gli strati intermedi, è maggior di quello relativo al contorno interno.

Per cui si avrà un martellamento, in tempuscoli successivi, di onde esplosive sul fuoco F .

Se si vuole ottenere l'azione contemporanea sull'asse della carica, si dovranno realizzare curve di contorno esterno ed interno alquanto diverse, in quanto, pur ricavandosi con equazioni analoghe a quelle della curva isoesplosiva, hanno fuochi diversi.

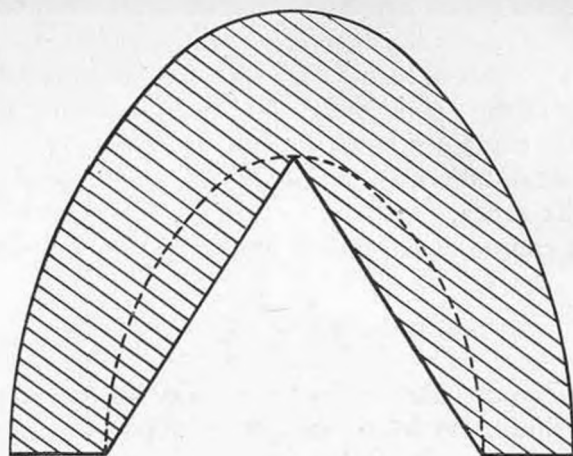
Si verificherà in tal modo che, all'atto dell'esplosione, gli effetti di ciascuna carica elementare si esplicheranno contemporaneamente sull'asse comune, ma su fuochi successivi, posti tutti sull'asse di simmetria di cavità.

Gli effetti di pratico rendimento delle cariche monofocali e di quelle polifocali si equivalgono: quello che varia è il profilo.

A parità di esplosivo e di peso, le cariche cave monofocali hanno il profilo più largo e più tozzo di quelle polifocali.

Perciò le cariche monofocali sono più usate per l'allestimento di mine e cariche fisse di uso campale, mentre le polifocali si adattano meglio alla forma dei proiettili.

Il profilo pratico in genere, per facilità di lavorazione e perchè nel corso di questa non vada perduta una certa quantità di esplosivo, nella maggioranza dei casi si realizza di forma conica, secondo le corde delle due curve delimitanti la cavità.



CONDIZIONI DI MASSIMO RENDIMENTO.

Interessante oggetto di studio e di esperienze sono le condizioni di massimo rendimento delle cariche cave nei riguardi degli effetti di perforazione in corazza.

Parametri che comportano variazioni nell'effetto a parità di carica, sono il diametro della cavità e la profondità focale.

L'esperienza ha dimostrato che il rapporto (indicato come « profondità focale specifica ») tra la profondità focale e il diametro della cavità, che dà il miglior rendimento, è:

$$0,1 < \frac{p}{d} < 0,5$$

La quantità in peso dell'esplosivo costituente la carica cava è in funzione anch'esso del tipo e dello spessore della corazza da perforare.

Mercè dati sperimentali si è dedotta la relazione:

$$p = K S^n$$

dove p è la quantità di peso dell'esplosivo espressa in grammi, K è un coefficiente dipendente dal tipo di acciaio col quale è stata allestita la corazza (il cui valore per la maggioranza dei mezzi blindati si può considerare intorno a 1,5), S è lo spessore della corazza espresso in centimetri, n è un esponente (del valore approssimato di 2,5), in funzione soprattutto dello spessore.

EFFETTI PRATICI ED IMPIEGO BELLICO.

La corazza di un carro colpita da una carica cava presenta in corrispondenza del punto d'impatto un foro con caratteristiche di fusione, di diametro notevolmente inferiore a quello della bocca della cavità, con proiezione all'in-

terno di un menisco principale incandescente avulso dalla corazza stessa e di un fascio di frammenti di fusione (1).

Inoltre i gas a temperatura elevatissima, sviluppati dall'esplosione, irrompendo violentemente, attraverso il foro prodotto, in un ambiente chiuso e ristretto, come l'interno di un carro armato, producono un effetto di soffio e alterano la pressione ambiente in modo tale che, anche quando non si dovesse verificare il brillamento delle munizioni di bordo e l'incendio delle parti infiammabili del carro, l'equipaggio di questo viene posto fuori combattimento.

Durante l'ultima guerra, in carri armati colpiti da Panzerfaust, Piat, Bazooka ed altre armi simili, impieganti proietti a carica cava, sono stati rinvenuti cadaveri che non presentavano ferite mortali, altri addirittura alcuna lesione esterna, ma si riscontravano in essi tracce di emorragie, che trovavano sfogo dalle orecchie, dal naso, dagli occhi e dalla bocca.

Se il carro è però colpito in parti marginali e l'onda esplosiva non ha modo di agire in ambiente ristretto (interno della torretta o della casamatta), i danni sono del tutto locali: infatti se gli effetti perforanti della carica cava sono irraggiungibili con cariche generiche di eguali quantità di esplosivo, hanno però un raggio di azione molto ridotto.

Impiegando proietti a carica cava contro fortini in muratura, postazioni in caverna, caseggiati ecc., si hanno effetti analoghi a quelli specificati per i carri, ma con aumento del diametro e della profondità della perforazione. La minore coesione del materiale, inoltre, fa sì che all'azione perforante si sommino effetti di demolizione d'importanza secondaria.

Contro opere in terra, ripari costituiti da sacchetti di sabbia, trincee in rilievo ricavate con la neve, l'effetto Neuman tende a perdere le sue caratteristiche.

Impiegando cariche cave contro bersagli animati all'aperto, si ottiene un effetto esplosivo di maggiore violenza che non con le normali cariche, ma entro un raggio d'azione molto limitato.

PREGI ED UTILIZZAZIONE DELLE CARICHE CAVE.

Poichè con piccole quantità di esplosivo, si realizzano, come si è detto, effetti notevolissimi, le cariche cave e le munizioni che l'impiegano risultano a parità di rendimento molto economiche e leggere.

Ciò va a vantaggio della produzione, ed alleggerisce il problema logistico del rifornimento munizioni in linea.

Inoltre, poichè i proietti a carica cava abbisognano di basse velocità residue, e quindi impiegano modeste cariche di lancio, le armi che li utilizzano

(1) La velocità di proiezione di tali frammenti si suppone per la bomba Energa nell'ordine di 10.000 m/s.

non vengono sottoposte ad elevate pressioni ed a notevoli sollecitazioni: conseguentemente sono armi semplici, leggere, maneggevoli.

Senza indugiare sulle armi già in uso durante la seconda guerra mondiale e sui proietti a carica cava EP ed EPS impiegati dalle artiglierie, accenneremo brevemente alle attuali armi, che utilizzano munizionamento a carica cava, in dotazione alle fanterie: tromboncini, mortai leggeri, lanciarazzi, cannoni senza rinculo, mortai pesanti, mine anticarro.

Le bombe a carica cava, lanciabili a mezzo tromboncino applicato al fucile, hanno realizzato perforazioni notevolissime con i tipi Energa e S.T.R.I.M., tanto che, qualora se ne estenda la loro distribuzione sino alla squadra fucilieri, l'impiego di carri armati a distanze intorno ai 100 m. dalla fanteria, diventerà oltremodo oneroso.

Per altro l'Energa e la S.T.R.I.M. conservano un elevato potere perforante anche con 55° d'angolo di impatto e contro corazze diaframmate (1).

Ciò sta a dimostrare che il rendimento delle cariche cave attuali può essere migliorato e che non si è ancora raggiunto l'optimum nella massima parte delle munizioni che le impiegano.

I mortai leggeri, con possibilità di effettuare il tiro teso (come il tipo Madsen), possono lanciare bombe a carica cava con maggiore precisione che non i fucili con tromboncino ed i lanciarazzi, in quanto dispongono di una stabile base di appoggio.

I lanciarazzi tipo Bazooka tendono ad essere superati dal tromboncino, anche perchè la vampa di culatta dovuta alla sfuggita dei gas generati dalla carica di lancio attraverso l'ugello posteriore del proietto razzo, ne condizionano la postazione e li rendono individuabili. Solo la maggiore potenza unita alla maggiore gittata utile, può giustificare il loro mantenimento in servizio.

Per altro la maggiore potenza si verifica solo nel Bazooka da 88, che realizza una perforazione tripla di quello da 60, ed inoltre dispone di un bipiede e di un monopiede di appoggio che consentono un puntamento più accurato contro bersaglio fisso.

Nei cannoni senza rinculo si è obbligati a ricorrere a proietti a carica cava per poter ottenere effetti perforanti, soprattutto in quanto il sistema adottato per equilibrare la forza di rinculo limita la velocità iniziale (2).

(1) L'effetto perforante di tali bombe è stato paragonato a quello ottenibile con un proietto da 100 mm. del peso di 15 kg. animato da $V_0 = 1000$ m/s.

(2) Un altro esempio di proietti a carica cava in sostituzione dei normali proietti perforanti, per supplire alla deficienza di velocità iniziale, si ha nelle bocche da fuoco ripristinate.

I cannoni c.c., a causa delle elevate velocità iniziali, subiscono un rapido logorio dell'anima, la cui durata, in relazione alla potenza delle cariche di lancio impiegate, si riduce a poche centinaia di colpi.

Queste bocche da fuoco possono essere ricalibrate aumentando così di calibro a

Il rinculo viene controbilanciato infatti dal deflusso di notevole aliquota dei gas generati dalla carica di lancio, attraverso gli ugelli ricavati tra la culatta e l'otturatore del pezzo. Tali gas vanno perduti ai fini della forza di proiezione.

Per altro, la velocità iniziale maggiore del cannone da 75 senza rinculo, consente un tiro a maggiore distanza ed una maggiore precisione (tiro utile c.c. 500 ÷ 700 m.), rispetto alle armi già esaminate. Però anche il cannone s. r. presenta l'inconveniente della vampa di culatta che lo rende facilmente individuabile, per cui non può eseguire azioni di fuoco prolungate dalla stessa postazione.

Il mortaio da 120 Brandt dispone di una bomba del peso di kg. 12,800 contenente una carica cava di kg. 1,650. Tale bomba è efficacissima contro postazioni interrate a cielo coperto, la cui consistenza può resistere alle normali bombe con spoletta ritardata.

Le cariche cave campali fisse sono in condizioni ideali di funzionamento, in quanto esplodono a riposo sul mezzo da perforare, e la distanza focale della carica dalla superficie di questo è regolabile in alcuni tipi, in relazione agli effetti da raggiungere, mediante « gambe » registrabili, applicate alla base del contenitore. Il fatto però che debbono essere deposte sul mezzo da perforare, limita naturalmente il loro impiego a casi particolari.

Le mine anticarro a carica cava sono leggere (intorno ai 4 ÷ 5 kg.) e poco ingombranti, conseguentemente di facile trasporto, di rapida messa in opera e difficilmente individuabili ed inutilizzabili. Hanno però effetto eccessivamente localizzato, per cui risultano veramente efficaci solo se esplodono proprio sotto lo scafo del carro: comunque, quando saranno messe a punto, potranno notevolmente integrare i normali campi minati.

IL ROVESCIO DELLA MEDAGLIA.

I risultati conseguiti, guerra durante, col munizionamento a carica cava, l'entità delle perforazioni con esso ottenute, il fattore economico, hanno fatto ritenere a qualche orecchiante, che sia risolto il problema della difesa c.c. della fanteria.

In realtà ciò è vero limitatamente alle brevi distanze (700 m. circa con il cannone senza rinculo da 75, 100 ÷ 150 m. con le altre armi citate).

Affinchè l'effetto Neuman si produca nella sua interezza, il proietto a carica cava deve impattare sul bersaglio con velocità modesta: perchè diver-

detrimento dello spessore delle pareti della b. d. f., per cui viene ad abbassarsi la resistenza di queste alla pressione specifica. Dovendo così rinunciare a cariche di lancio idonee a produrre elevate velocità iniziali, si deve ricorrere al munizionamento a carica cava per poter effettuare il tiro c.c..

samente si deforma la cavità della carica prima che l'onda di propagazione si sia sviluppata, e quindi si verifica la normale esplosione perdendosi l'effetto concentrato. Inoltre per ottenere una buona perforazione, bisogna che il fuoco venga a giacere sulla superficie da perforare. Ciò si ottiene nei proiettili a carica cava mediante un'opportuna lunghezza di ogiva: ora se a causa dell'elevata velocità di impatto l'ogiva si frantuma anzitempo, non si realizza la condizione di cui sopra.

Così pure se alle corazze vengono anteposti, a distanze opportune, schermi costituiti da tralicci o reti metalliche, si otterrà all'atto dell'impatto un'esplosione prematura della carica ed il fuoco della cavità non si troverà in posizione vantaggiosa rispetto alla corazza.

Se la bassa velocità comporta i vantaggi citati, che si concretano in semplicità e leggerezza delle armi, comporta altresì degli svantaggi che si concretano in difficoltà di colpire bersagli come i carri armati. Infatti:

- il carro armato è un bersaglio mobile, e quindi colpibile più facilmente con traiettorie di brevi durate;

- il carro armato è un bersaglio verticale, e quindi colpibile più facilmente con traiettorie molto tese che si avvantaggiano del grande errore battuto;

- i proiettili animati da basse velocità risentono molto delle condizioni del momento, specie dell'influenza del vento.

Per quanto sopra detto, un proiettile a carica cava è efficace per il tiro c.c. ravvicinato, e contro carri fermi.

Se si consente ai carri di scorazzare praticamente indisturbati, a poche centinaia di metri dai capisaldi della fanteria, il loro armamento di bordo potrà svolgere un fuoco mirato micidiale di effetto determinante.

I fanti che si sono trovati sotto tale fuoco, non dimenticano l'angosciosa sensazione della propria impotenza.

E' bene tener presente inoltre, che qualche esercito dispone già di carri « testuggine », che hanno la caratteristica di essere bassissimi, con superficie esterne tali da creare impatti sfavorevolissimi ai fini della perforazione; l'equipaggio sta entro essi in posizione prona, l'armamento principale è costituito da un obice o da un cannone di medio calibro.

Comunque si tende verso carri più mobili e meno vistosi degli attuali, anche se potentemente armati.

LA DIFESA C. C. DELLA FANTERIA.

Tutto ciò dimostra che è ancora il cannone, con proiettili perforanti dotati di alta velocità iniziale, che può fermare il carro sul campo di battaglia.

L'aviazione, con i lanciarazzi di bordo e le bombe al napalm, non può agire in dettaglio e dovunque, ma solo su concentramenti di forze corazzate e quando l'aviazione avversaria non abbia una notevole superiorità.

Le armi che impiegano la carica cava possono contrastare al carro la fase urto, ma non l'azione di fuoco a distanze efficaci.

Perciò la fanteria conserva il pezzo c.c. da 57/50.

E' indubbio però che tale pezzo, il quale pesa in batteria ben 1117 kg. ed è piuttosto vistoso, non è il più adatto alla difesa marginale dei capisaldi.

Occorrerebbe un cannone più piccolo, più leggero e manovrabile, ma capace di perforare corazze di 8 cm.

Il problema potrebbe forse risolversi mercè l'impiego di munizionamento con proietti decalibrati tipo « Sabot ». Ma il carbure di tungsteno, costituente principale di tali proietti, è pressochè introvabile oltre che costosissimo.

I Tedeschi avevano in studio avanzato cannoni ad anima conica dotati di elevatissime velocità iniziali.

Comunque il problema del cannone c.c. da fanteria non è ancora risolto ed è risolvibile.

L'Italia, che è la patria del Cavalli e del Siacci, vanta ancora oggi dei tecnici capaci di tali realizzazioni.

E' dalla loro dotta ed appassionata fatica che la fanteria attende il suo cannone c.c.

LA BALISTICA INTERNA DEI CANNONI SENZA RINCULO

Magg. (S.Te.A.) Alessandro d'Alessandro

In un mio precedente articolo (1) ho avuto occasione di sottolineare l'importante ruolo che le armi senza rinculo potevano ricoprire, fornendo al fante un'arma che potesse lanciare verso il nemico un proietto esplosivo, in modo sufficientemente preciso, e che fosse robusta e leggera tanto da poter essere trasportata a braccia in qualsiasi condizione di terreno.

Le mie osservazioni hanno trovato conferma nell'interesse che molte nazioni hanno posto alle armi senza rinculo: mentre nazioni europee hanno messo allo studio materiali senza rinculo anche di medio calibro, gli Stati Uniti d'America hanno dato maggiore distribuzione alle loro armi M18 ed M20, che, nella ultima rivista in occasione dell'anniversario della vittoria, sono apparse anche in installazioni autotrasportate sui caratteristici rimorchietti delle jeep.

Ciò non ostante nella letteratura italiana manca finora la trattazione della balistica interna dei cannoni senza rinculo, e studi comparsi in lingua straniera non hanno completamente sviluppato il problema nè possono essere agevolmente consultati per il diverso simbolismo e per qualche differenza concettuale esistente rispetto alle nostre teorie balistiche generali.

Ho quindi affrontato lo studio di tale problema cercando di giungere a formole risolutive e ad un pratico sistema di calcolo.

Mi limiterò in questo articolo a riportare la parte essenziale del mio studio, tralasciando i lunghi sviluppi matematici e le complesse formole di integrazione che mi hanno permesso di giungere alle espressioni definitive, per non appesantirne eccessivamente la lettura, e concluderò con alcune considerazioni sull'applicazione che del metodo ho fatto a due tipi caratteristici di cannoni senza rinculo: il cannone da 57 U.S.A. ed il cannone da 75 LG 40 tedesco.

I. - PREMESSA.

I cannoni senza rinculo che sono attualmente in distribuzione negli eserciti di alcuni Stati o allo studio presso altri, utilizzano tutti lo stesso sistema

(1) D'ALESSANDRO A.: *Cannoni senza rinculo*, in « Rivista Aeronautica », n. 8, 1947.

per equilibrare lo sforzo di rinculo. Abbandonato lo schema del Davis, che faceva lanciare verso l'indietro un pesante controproietto, i cannoni senza rinculo moderni utilizzano come massa da lanciare in direzione opposta al proietto una parte dei gas prodotti dalla carica di lancio.

Le figg. 1 e 2 danno un'idea di come questo risultato possa essere ottenuto. I gas della carica si espandono, per effetto della pressione esistente nella camera, verso l'avanti, producendo l'accelerazione del proietto, e verso l'indietro nell'ugello o negli ugelli convergenti divergenti. La forma dell'ugello di efflusso permette ai gas di trasformare la propria energia di pressione in energia cinetica senza perdite eccessive, e così, mentre il proietto assume una quantità di moto rivolta verso l'avanti i gas effluenti acquistano una quantità di moto rivolta verso l'indietro.

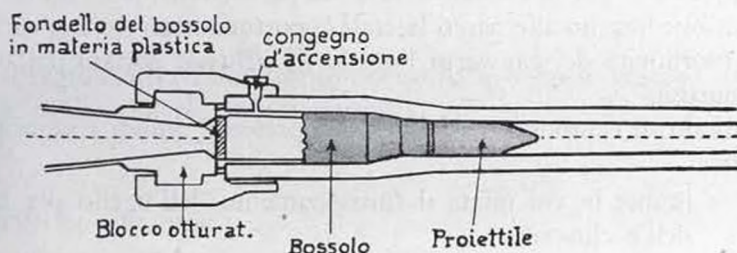


Fig. 1.

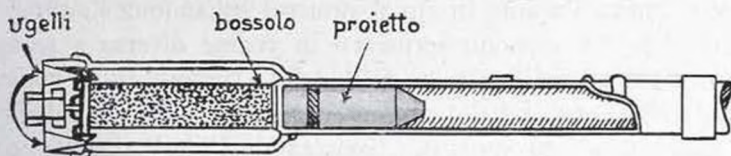


Fig. 2.

Se il cannone è studiato in modo che vi sia equilibrio tra le dette due quantità di moto la bocca da fuoco non sarà sottoposta ad alcuna forza e resterà immobile.

La soppressione del rinculo può essere di due tipi; è infatti possibile ottenere una soppressione « assoluta » o una soppressione « media ». Quando si parla di soppressione assoluta del rinculo si intende che l'equilibrio tra le quantità di moto si realizza in ogni istante, dall'inizio del fenomeno di sparo sino alla fine. Si parla invece di soppressione media quando la quantità di moto originata dalla combustione della carica ed applicata alla bocca da fuoco è nulla, se considerata nel complesso del fenomeno, pur non essendo verificata l'eguaglianza tra le quantità di moto di segno diverso istante per istante. Possono in questo secondo caso verificarsi delle forze istantanee, agenti sulla bocca da fuoco, che possono anche raggiungere valori notevoli.

La differenza tra questi due tipi di soppressione del rinculo è notevole in quanto — nel secondo caso — per non aver spostamenti del pezzo, occorre che l'affusto, con la propria elasticità e la propria inerzia, si comporti come un volano e permetta il compenso delle azioni successive delle forze dirette in senso contrario. Nel caso della soppressione assoluta del rinculo, invece, nessuno sforzo sarà trasmesso all'affusto, che potrà conseguentemente essere molto alleggerito e in qualche caso anche soppresso.

La bocca da fuoco di un cannone senza rinculo è costituita come quella di un cannone ordinario a bossolo metallico, con la seguente variante fondamentale: il bossolo assolve alle funzioni di tenuta ermetica soltanto nei primi istanti della combustione, per assicurare l'accensione completa della carica, e successivamente — per la rottura di una sua parte (fondello di resina sintetica, tubo di cartone interno alle pareti laterali opportunamente forate, ecc.) — permette la fuoriuscita dei gas verso l'ugello di efflusso, portato dall'otturatore o dalla mortisa.

Il periodo di combustione della carica presenta quindi i seguenti istanti caratteristici:

t_u = istante in cui inizia il funzionamento dell'ugello per la rottura dell'occlusore;

t_p = istante in cui inizia il moto del proietto;

t_i = istante in cui termina la combustione della carica,

Inoltre t_b indica l'istante in cui il proietto abbandona l'anima.

Gli istanti t_p e t_u possono verificarsi in ordine diverso a seconda della sistemazione materiale dell'occlusore dell'ugello e possono anche coincidere (1).

Rimandando ai testi di balistica razionale per la discussione della impostazione del problema di pirodinamica (utilizzando i risultati della teoria pirostatica), riassumerò le ipotesi fondamentali che si sogliono fare per riportare ad un modello suscettibile di calcolo il complesso fenomeno della combustione della carica e della espansione dei gas combusti.

Le ipotesi fondamentali sono:

1^a - l'inflammazione della carica di lancio è istantanea per tutti i grani e si verifica contemporaneamente in tutti i punti della superficie di ogni grano;

2^a - la combustione di ciascun grano procede per strati paralleli in modo che, durante tutto il fenomeno, la forma resta perfettamente simile a quella iniziale;

3^a - la combustione procede dalla superficie verso l'interno del grano,

(1) Indicheremo con gli indici u , p , i e b tutte le grandezze che si riferiscono agli istanti t_u , t_p , t_i e t_b rispettivamente.

con velocità lineare proporzionale ad una certa potenza della pressione sviluppata;

4^a - il covolume dei gas combusti è indipendente dalla loro temperatura ed è funzione univoca della densità dell'esplosivo e della frazione di carica combusta.

Oltre queste ipotesi — che sono comuni alla balistica interna classica — occorre fare altre ipotesi connesse con l'efflusso dei gas attraverso l'ugello. Esse sono:

5^a - non vi è sfuggita di polvere incombusta attraverso l'ugello;

6^a - la stabilizzazione del flusso attraverso l'ugello si verifica istantaneamente — all'atto della rottura dell'occlusore — in corrispondenza della pressione P_0 ;

7^a - il regime attraverso l'ugello è retto dalle leggi di efflusso attraverso un normale ugello convergente divergente.

2. - EQUAZIONI DI PARTENZA.

Sotto le ipotesi del paragrafo precedente valgono le seguenti equazioni:

1^a - Equazione di Sarrau:

$$P = \frac{R T}{V - \eta} \quad [1]$$

dove:

P = pressione corrente nell'interno dell'arma;

R = costante dei gas combusti;

V = volume specifico dei gas combusti;

η = covolume dei gas combusti.

2^a - Espressione del covolume η :

$$\eta = \frac{1}{\delta} + q \left(\alpha - \frac{1}{\delta} \right) \quad [2]$$

dove:

δ = densità dell'esplosivo;

α = covolume dell'esplosivo;

q = frazione di carica combusta = $\frac{\text{peso carica combusta}}{\text{peso totale carica}}$

3ª - Velocità generica di combustione u :

$$u = \frac{dl}{dt} = w P^v \quad [3]$$

dove:

l = semispessore combusto del grano;

w = velocità lineare di combustione alla pressione unitaria; in realtà è un parametro di adattamento della teoria che ha le dimensioni di una lunghezza al cubo divisa per un tempo ed una forza;

v = esponente di pressione.

4ª - Equazione binomia di forma

$$q = a y (1 - \lambda' y) \quad [4]$$

dove:

y = spessore combusto $= l/l_1$, essendo l_1 la semidimensione minima del grano;

a, λ = costanti geometriche di forma (1).

5ª - Legge di inerzia (o prima equazione fond. della pirodinamica)

$$\mu \frac{d^2 s}{dt^2} = P \Omega \quad [5]$$

od anche:

$$\mu \frac{dv}{dt} = P \Omega \quad [5']$$

dove:

s = percorso del proietto nell'anima;

Ω = sezione retta dell'anima;

v = velocità corrente del proietto;

μ = massa fittizia del proietto, maggiorata per tener conto delle perdite per lavori passivi.

6ª - Portata in peso di gas effluente dall'ugello:

$$G = K S_c \sqrt{P/V} \quad [6]$$

(1) L'espressione [4] corrisponde all'espressione della balistica interna inglese

$$\Phi = (1 - f) \cdot (1 + \theta f)$$

quando si ponga

$$1 - \theta = a \quad \text{e} \quad \frac{\theta}{\theta - 1} = \lambda'$$

dove:

$$K = \sqrt{g \cdot n \left[\frac{2}{(n+1)} \right]^{(n+1)/(n-1)}}; \quad n = c_p/c_v \quad (1)$$

G = portata in peso di gas combusti effluenti;
 S_c = sezione critica o di gola dell'ugello;
 V = volume specifico dei gas esistenti nell'arma sotto la pressione P .

Il coefficiente K non è un coefficiente adimensionale in quanto vi compare l'accelerazione di gravità « g ». Conviene quindi scriverlo sotto la forma

$$K = \sqrt{g} \cdot \bar{K}$$

dove $\bar{K}$ è un coefficiente adimensionale, che nelle varie applicazioni conviene assumere come costante di correzione, variabile con la natura dei canali di efflusso. Esso quindi resterà costante in uno stesso cannone quando ne sia variata la carica. Indicheremo questa costante con il nome di « coefficiente dell'ugello di scarico ». Il suo valore, per ugelli ben progettati nei confronti del flusso gassoso si può assumere all'incirca eguale a 0,63.

γ^a - Relazione tra il gas prodotto dalla combustione e quello presente nell'arma.

Posto:

$$\zeta = \frac{\text{gas combusti presenti nell'arma}}{\text{peso carica di lancio}} \quad [7]$$

si ha:

$$q = \frac{\zeta \cdot \omega}{W + \frac{\omega}{\delta} - \frac{\omega}{\delta} (1 - q)} \quad [8]$$

dove:

q = $1/V$ = densità del gas esistente nell'arma;

ω = peso della carica di lancio;

δ = densità dell'esplosivo;

W = volume della camera a polvere, dalla sezione di gola dell'ugello al fondello del proietto in sede di caricamento;

ed anche:

$$\frac{d}{dt} (\zeta \cdot \omega) = \frac{d}{dt} (\omega \cdot q) - G \quad [9]$$

(1) D'ALESSANDRO A.: *Calcolo di proietti razzo*, in « Rivista Aeronautica », serie Tecnica Aeronautica, Quadern n. 232.

3. - EQUAZIONI GENERALI DEL PERIODO DI COMBUSTIONE.

Nell'impostazione del calcolo ci discosteremo un poco dalla traccia seguita dallo Charbonnier per le artiglierie normali. Mentre infatti lo Charbonnier utilizza come legge di combustione della carica la relazione:

$$\frac{dq}{dt} = A \cdot X(q) \cdot P^v$$

dove $X(q)$ è la funzione di forma, noi assumeremo l'espressione — derivata dalla [3] —:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{l_1} \cdot \frac{dl}{dt} = \frac{w}{l_1} \cdot P^v \quad [10]$$

che scriveremo, posto

$$A = w/l_1 \quad [11]$$

nel seguente modo:

$$\frac{dy}{dt} = A \cdot P^v \quad [12]$$

Dovremo inoltre cercare un'equazione equivalente a quella di Resal e Sarrau, equazione energetica riferita ai gas della carica.

Nelle artiglierie con sfuggita di gas attraverso gli ugelli posteriori tale equazione viene desunta dal seguente ragionamento: nel tempo dt i gas sviluppati dalla deflagrazione dell'esplosivo vanno ad aumentare la massa di gas presenti nell'arma. Questi gas compiono un lavoro eguale all'incremento di energia cinetica acquistata dal proietto; nello stesso tempo una certa massa defluisce attraverso l'ugello asportando una certa quantità di energia. Al tempo t , del periodo di combustione è combusta la quantità di esplosivo

$$M_1 = q \cdot \omega \quad [13]$$

ed allo stesso istante la quantità di gas presente nell'arma è:

$$M_2 = \zeta \cdot \omega \quad [14]$$

La quantità di gas che fuoriesce dall'ugello è, per la [6],

$$G = K S_c \sqrt{P/V} = K S_c \sqrt{\frac{P}{RT/P}}$$

ossia:

$$G = \frac{K P S_c}{\sqrt{R T}} \quad [15]$$

sì che la [9] diventa:

$$\frac{d}{dt} (\zeta \cdot \omega) = \frac{d}{dt} (q \cdot \omega) - \frac{K P S_c}{\sqrt{R T}} \quad [9']$$

dove T è la temperatura regnante a monte dell'ugello, e che supporremo uniforme in tutta la massa dei gas presenti nell'arma.

Potremo studiare l'equilibrio energetico in questo istante, dividendo il fenomeno in tre fasi:

a) l'espansione del gas, in un intervallo di tempo dt , sposta in avanti il proietto di ds ; nell'ipotesi di una trasformazione adiabatica il lavoro compiuto è:

$$P \cdot \Omega \cdot ds \quad [16]$$

Se $i(T)$ è l'entalpia del gas alla temperatura T , l'energia interna del gas passa dal valore

$$M_2 \cdot i(T) \quad [17]$$

al valore

$$M_2 \cdot i(T) - P \cdot \Omega \cdot ds \quad [17'] \quad (1)$$

Conseguentemente la temperatura del gas diminuisce di:

$$-dT = \frac{P \cdot \Omega \cdot ds}{M_2 \cdot c_v} = \frac{P \cdot \Omega \cdot ds}{M_2 \cdot R} (n-1) \quad [18]$$

b) mentre regna nella camera la pressione P , si trasforma in gas una quantità di carica

$$dM_1 = \omega \cdot dq$$

che incrementa l'energia interna dei gas della quantità:

$$\omega \cdot dq \cdot i(T_0)$$

essendo $i(T_0)$ l'entalpia dei gas alla temperatura di combustione della carica.

Questa energia si scinde in due parti:

1° - quella corrispondente all'energia interna che resta nei gas prodotti dM_1 , portati alla temperatura T , minore di T_0 , dei rimanenti prodotti gassosi:

$$\omega \cdot dq \cdot i(T)$$

2° - quella spesa per aumentare di dT la temperatura di tutta la massa gassosa

$$(M_2 + \omega \cdot dq) \cdot c_v \cdot dT$$

che, a meno di infinitesimi del secondo ordine, vale:

$$M_2 \cdot c_v \cdot dT \quad [19]$$

(1) In tutte queste relazioni i lavori, ecc. sono espressi in calorie: è quindi sottinteso la costante di trasformazione.

Sussisterà quindi la relazione:

$$\omega \cdot dq \cdot i(T_0) = M_2 \cdot c_v \cdot dT + \omega \cdot dq \cdot i(T)$$

da cui:

$$dT = \frac{dq}{\zeta} (T_0 - T) \quad [20]$$

sotto l'ipotesi che c_v sia costante nell'intervallo di temperatura $T \div T_0$.

c) sotto la pressione assoluta P , esistente nella camera, sfugge attraverso l'ugello una massa gassosa (secondo la form. 9):

$$\Delta M_2 = \omega \cdot (dq - d\zeta) \quad [21]$$

che si espande secondo la legge adiabatica:

$$\frac{T_0}{T} = \left[\frac{V}{V_0} \right]^{n-1}$$

da cui differenziando logaritmicamente:

$$-d \log T = (n-1) \cdot d \log V.$$

Essendo, secondo Sarrau,

$$V = \frac{1}{\rho} - \eta \quad [22]$$

si ha:

$$\log V = \log \left(\frac{1}{\rho} - \eta \right)$$

e, sostituendo nella precedente:

$$\frac{dT}{T} = (n-1) \frac{1}{\frac{1}{\rho} - \eta} \cdot \frac{d\rho}{\rho^2} = \frac{n-1}{1-\eta\rho} \cdot \frac{d\rho}{\rho} \quad [23]$$

D'altra parte, in conseguenza della diminuzione nella massa gassosa $M_2 = \omega \cdot \zeta$, della quantità [21], la densità ρ della massa varia secondo la:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{-\Delta M_2}{M_2} = -\frac{\omega (dq - d\zeta)}{\omega \cdot \zeta} = -\frac{dq - d\zeta}{\zeta} \quad [23']$$

Sostituendo nella [23] si ha quindi:

$$dT = \frac{n-1}{1-\eta\rho} \cdot \frac{d\zeta - dq}{\zeta} T \quad [24]$$

La somma degli effetti parziali [18], [20] e [24] dà la relazione complessiva:

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{P \cdot \omega \cdot ds}{M_2 \cdot R \cdot dt} (n-1) + \frac{dq}{\zeta} \cdot \frac{T_0 - T}{dt} + \frac{n-1}{1-\eta\rho} \cdot \frac{(d\zeta - dq) T}{\zeta \cdot dt} \quad [25]$$

da cui semplificando:

$$\frac{d}{dt} (\zeta T) = -(n-1) \frac{P \cdot \Omega}{\omega \cdot R} \cdot \frac{ds}{dt} + T_0 \cdot \frac{dq}{dt} - \frac{n' K S_c P}{\omega \cdot R} \sqrt{\frac{RT}{T}} \quad [26]$$

avendo posto:

$$[27] \quad n' = n + (n-1) \varepsilon \text{ ed } \varepsilon = \frac{\eta \rho}{1 - \eta \rho} \quad [28]$$

Le equazioni [1], [8] e [2] ci permettono di dedurre un'altra relazione fondamentale:

$$P \left[W + \Omega \cdot s - \frac{\omega}{2} (1 - q + \zeta - q \cdot \zeta + \alpha \cdot \zeta \cdot \beta \cdot q) \right] = R \cdot T_0 \cdot \zeta \cdot \omega \quad [29]$$

che può esser più semplicemente scritta:

$$P \left[W + \Omega \cdot s - \frac{\omega}{2} \right] = R \cdot T_0 \cdot \zeta \cdot \omega \quad [30]$$

nell'ipotesi che il termine in parentesi tonda della [29] sia quasi eguale all'unità (1).

Dalla [15] e dalla [9], per la costanza di ω si ottiene ancora:

$$\frac{d}{dt} \zeta = \frac{d}{dt} q - \frac{K S_c P}{\omega \sqrt{RT}} \quad [31]$$

Abbiamo così ottenute tutte le equazioni che occorrono per il periodo di combustione. Esse sono le [4], [5], [12], [26], [30], e [31].

Nel periodo di espansione le [4] e [12] non hanno più valore; le [26] e [31] continuano a valere, con la sostituzione di $dq/dt = 0$, e l'equazione [30] viene sostituita dalla:

$$P (W + \Omega \cdot s - \tau \cdot \zeta \cdot \omega) = RT \cdot \zeta \cdot \omega \quad [32]$$

4. - INTEGRAZIONE DELLE EQUAZIONI DI PARTENZA.

L'integrazione delle equazioni dedotte nel paragrafo precedente è più agevole sotto l'ipotesi — universalmente adottata per la balistica classica — che l'esponente di pressione γ sia eguale ad uno, ossia che la velocità di combustione sia funzione lineare della pressione.

(1) Questa ipotesi introduce, in genere, nel valore di P un errore inferiore all'1% ed è quindi praticamente accettabile.

Convienne introdurre il parametro adimensionale T' , rapporto della temperatura assoluta del gas alla temperatura di deflagrazione della carica

$$T' = T/T_0 \quad [33]$$

Modificate le equazioni del paragrafo precedente per effetto della introduzione della [33] e posto

$$L = \frac{K S_c}{m \sqrt{R T_0}} \cdot \frac{1}{A}$$

parametro del cannone e della carica, si ha, integrando tra l'istante t_u ed un generico istante t :

$$\xi - \xi_u = q - q_u - L \int_{y_u}^y \frac{dy}{\sqrt{T'}} = q - q_u - L \left(\frac{1}{\sqrt{T'}} \right)^* \cdot (y - y_u) \quad [34]$$

dove $(1/\sqrt{T'})^*$ è un opportuno valore medio di $1/\sqrt{T'}$, che si può porre, con buona approssimazione:

$$\left(1 / \sqrt{T'} \right)^* = \frac{4}{1 + 3 \sqrt{T'}} \quad [35]$$

Semplificando si ha l'espressione definitiva di ξ per il periodo di combustione:

$$\xi = q - L \frac{4 (y - y_u)}{1 + 3 \sqrt{T'}} \quad [36]$$

La relazione che lega la velocità del proietto alla frazione di carica combusta è la stessa di quella che si ottiene nel metodo Charbonnier per i cannoni ordinari, e cioè:

$$v = \frac{\Omega}{A \cdot \mu} (y - y_p) \quad [37]$$

Dalle [26], [12] e [5], semplificando ed integrando tra t_u ed il generico istante t , si ottiene dopo alcuni sviluppi:

$$T' \left(q + \frac{L (n' - 1) (y - y_u)}{\Theta} \right) = q - (n - 1) \frac{\mu \cdot v^2}{2 \cdot \omega \cdot R \cdot T_0} \quad [38]$$

che vale dopo l'apertura dell'ugello e dove v è la velocità fornita dalla [37] e Θ è data dalla:

$$\Theta = 1,75 T' - 0,75 \quad [38'] \quad (1)$$

(1) Nel caso che il proietto parta prima dell'apertura dell'ugello la [38] deve essere sostituita dalla

$$T' q = q - (n - 1) \mu \cdot v^2 / 2 \cdot \omega \cdot R \cdot T_0$$

Più complessa è la determinazione della relazione tra il percorso del proietto e lo spessore di grano combusto.

Nella relazione che si ottiene eliminando la P tra la [5] e la [30] e tenendo presente la [33], va sostituito la

$$dv = \frac{\Omega}{A \cdot \mu} dy$$

derivata dalla [37].

Si ottiene così l'equazione differenziale

$$\frac{\Omega \cdot ds}{W + \Omega \cdot s - \omega / \delta} = \frac{\mu}{R \cdot T_o \cdot \omega} \left(\frac{\Omega}{A \cdot \mu} \right)^2 \cdot \frac{y - y_p}{\xi T'} \cdot dy \quad [39]$$

L'integrazione di questa equazione è abbastanza complessa e pertanto ne dà direttamente il risultato ottenuto sotto l'ipotesi — che possiamo immaginare sempre verificata — che la pressione di inizio di funzionamento dell'ugello (P_u) sia minore o al massimo eguale a quella di inizio del moto del proietto (P_p).

Nel caso che le caratteristiche di forma del grano siano tali che

$$a \lambda' \neq 0$$

la [39] integrata fornisce:

$$\ln \left(\frac{\Omega s}{W - \frac{\omega}{\delta}} + 1 \right) = \frac{2}{H} \left(\frac{1}{T'} \right)^* \cdot \frac{1}{2 a \lambda'} \cdot \ln \left(\frac{\Lambda y_u + (a - \Lambda) y - a \lambda' y^2}{\Lambda y_u + (a - \Lambda) y_p - a \lambda' y_p^2} \right) + \quad [40] (1)$$

$$+ \frac{(a - \Lambda) - 2 a \lambda' y_p}{a \lambda' \sqrt{(a - \Lambda)^2 + 4 a \lambda' \Lambda y_u}} \left[\tanh^{-1} \frac{(a - \Lambda) - 2 a \lambda' y_p}{\sqrt{(a - \Lambda)^2 + 4 a \lambda' \Lambda y_u}} - \tanh^{-1} \frac{(a - \Lambda) - 2 a \lambda' y}{\sqrt{(a - \Lambda)^2 + 4 a \lambda' \Lambda y_u}} \right]$$

dove H è il parametro fondamentale della balistica ed $(1/T')^*$ e Λ sono rispettivamente due opportuni valori medi del reciproco della temperatura ridotta T' e di una funzione della sua radice quadrata:

$$\frac{2}{H} = \frac{\Omega^2 \cdot l_1^2}{\mu \cdot R \cdot T_o \cdot \omega \cdot w^2} \quad [41]$$

$$\left(\frac{1}{T'} \right)^* = \frac{35 - 25 T'}{425 - 500 T'^3 + 1390 T'^2 - 1305 T'} \quad [42]$$

$$\Lambda = \left[L \left(1/\sqrt{T'} \right)^* \right] = \frac{2 L}{3 \sqrt{T' - 1}} \quad [43]$$

Nel caso invece in cui sia

$$a \cdot \lambda' = 0$$

(1) Nell'eventualità che l'argomento della $\tanh^{-1}$ sia maggiore di uno la $\tanh^{-1}$ deve essere sostituita dalla $\coth^{-1}$.

la [40] diviene:

$$\ln \left(\frac{\Omega \cdot s}{W - \omega/\delta} + 1 \right) = -\frac{2}{H} \cdot \left(\frac{1}{T'} \right)^* \left[\frac{y_p - y}{\Lambda - 1} - \frac{\Lambda y_u - (\Lambda - 1) y_p}{(\Lambda - 1)^2} \ln \frac{\Lambda y_u - (\Lambda - 1) y}{\Lambda y_u - (\Lambda - 1) y_p} \right] \quad [44]$$

Le relazioni [40] e [44] pur senza essere di uso eccessivamente complicato (una buona macchina calcolatrice permette di impiegarle con una certa facilità) non sono molto semplici.

Ho quindi esaminato l'opportunità di introdurre una ulteriore ipotesi semplificativa che ben si adatta a quei cannoni senza rinculo nei quali l'occlusore è costituito da un foglio di cartone o da un lamierino sottile contenuto nel bossolo. In questo caso infatti la pressione che si verifica nel bossolo prima della rottura dell'occlusore è quella necessaria a generare la forza necessaria unicamente a vincere la resistenza offerta dalla aggraffatura del bossolo e a mettere in moto il proietto, la cui corona è già stata preventivamente intagliata: forza dell'ordine di qualche centinaio di kg. al più.

E' quindi lecito — senza grave danno della precisione del calcolo — trascurare la frazione di carica combusta necessaria per realizzare la P_u , facendo cioè l'ipotesi:

$$y_u = y_p = 0$$

Sotto tale ipotesi, integrando la [39] si ha:

$$\ln \left(\frac{\Omega \cdot s}{W - \omega/\delta} + 1 \right) = \frac{2}{H} \int_0^y \frac{y}{\xi T'} dy \quad [45]$$

che per il primo teorema sulla media degli integrali diviene:

$$\ln \left(\frac{\Omega \cdot s}{W - \omega/\delta} + 1 \right) = \frac{2}{H} \left(\frac{1}{T'} \right)^* \int_0^y \frac{y}{\xi} dy \quad [46]$$

dove $(1/T')^*$ è il valore medio dato dalla [42].

Sostituendo a ξ sotto il segno di integrale il valore dato dalla [36] ed eliminando la q per mezzo della [4] si ha una relazione che nel caso di $a \lambda' \neq 0$ diviene:

$$\log \left(\frac{\Omega \cdot s}{W - \omega/\delta} + 1 \right) = -\frac{2}{a \lambda' H} \left(\frac{1}{T'} \right)^* \log \left(1 + \frac{a \lambda'}{\Lambda - a} y \right) \quad [47]$$

espressione molto più semplice della corrispondente espressione esatta [40].

Nel caso in cui sia invece $a \lambda' = 0$, dalla [46] si ottiene con procedimento analogo:

$$\ln \left(\frac{\Omega \cdot s}{W - \omega/\delta} + 1 \right) = -\frac{2}{H} \left(\frac{1}{T'} \right)^* \frac{1}{\Lambda - a} y \quad [48]$$

espressione molto più semplice della corrispondente espressione esatta [44].

5. - RISOLUZIONE DEL PROBLEMA BALISTICO PRINCIPALE.

Le equazioni dedotte nel paragrafo precedente ci permettono di tracciare i diagrammi base per la risoluzione del problema balistico principale (determinazione dei diagrammi P , s e v , s).

Esamineremo il caso generale ($y_u \neq y_p \neq 0$) e vedremo successivamente le variazioni da apportare al metodo quando si introduca l'ipotesi semplificativa $y_u = y_p = 0$.

Le curve da tracciare sono:

- A) curva (T' , y), tra la temperatura ridotta e lo spessore combusto;
- B) curva (s , y), tra lo spazio percorso dal proietto e lo spessore combusto;
- C) curva (ζ , y), tra il parametro ζ e lo spessore combusto;
- D) curva (T' , s), tra la temperatura ridotta ed il percorso del proietto;
- E) curva (ζ , s), tra il parametro ζ ed il percorso del proietto;
- F) curva (P , s), tra la pressione ed il percorso del proietto;
- G) curva (v , s), tra la velocità ed il percorso del proietto.

I punti principali delle curve sono:

- a) all'inizio della combustione: istante $t = 0$;
- b) all'inizio del funzionamento dell'ugello: istante t_u ;
- c) all'inizio del moto del proietto: istante t_p ;
- d) alla fine della combustione: istante t_1 .

A) Curva T' , y .

Fino all'istante t_u la combustione avviene in vaso chiuso. Vale quindi il primo principio della pirostatica secondo il quale « il rapporto tra la pressione unitaria ad un dato istante e la pressione unitaria massima alla fine della combustione può ritenersi eguale al valore q della frazione di carica combusta nell'istante considerato ».

All'istante t_u quindi:

$$P_u/P' + q_u \quad [49]$$

dove P' è la pressione massima in capacità invariabile, che vale, per la densità di caricamento $\Delta = \omega/W$:

$$P' = RT_u \frac{\Delta}{1 - \eta \cdot \Delta} \quad [50]$$

Dalla [49] quindi, ove è nota P_u , si può dedurre il valore della frazione di carica combusta q_u e dalla [4] si ottiene risolvendo:

$$y_u = \frac{a - \sqrt{a^2 - a \lambda' q_u}}{2 a \lambda'} \quad [51]$$

dove il radicando è certo maggiore di zero e si è scelta la sola radice con segno meno in quanto $y_u \leq 1$.

In tutto l'intervallo $t = 0$ fino a $t = t_u$, la temperatura ridotta si mantiene costante ed eguale ad uno.

Si mantengono anche costanti ed identicamente nulli:

il valore del percorso del proietto: $s = 0$,

il valore della portata di efflusso: $G = 0$;

mentre è:

$$\zeta \equiv q \quad [52]$$

La relazione tra T' ed y per $1 \geq y \geq y_u$ si deduce dalle [38], [38'] e [4]. Risolvendo il sistema delle tre equazioni rispetto a T' si ottiene, eliminando la θ e la q , la relazione cercata:

$$T' = \frac{[2,5 q - (M + 1,75 V)] + \sqrt{[2,5 q - (M + 1,75 V)]^2 - 5,25 q (q - V)}}{3,5 q} \quad [53]$$

dove:

$$M = L (n' - 1) (y - y_u)$$

$$V = [(n - 1) u / 2 \cdot \omega \cdot f] \cdot v^2$$

Ne risulta un diagramma del tipo indicato in fig. 3.

B) Curva s, y .

La relazione [40] o la [44], a seconda che $a \lambda'$ sia diverso da zero o nullo, permettono di ottenere la curva s, y .

La risoluzione delle relazioni richiede che i calcoli siano condotti con molta precisione (approssimazione non inferiore alla quinta cifra decimale) in quanto in ciascuna di esse compare il logaritmo di una espressione razionale di s in funzione della differenza di due espressioni.

Ne risulta un diagramma del tipo indicato in fig. 4.

C) Curva ζ, y .

Le relazioni [4] e [36] permettono di ricavare la curva ζ, y in tutto l'intervallo $(y_u = y_p) \div y_1$.

Nel caso sia $y_p \neq y_u$ occorre valersi anche della relazione:

$$\zeta_p = \frac{P_p (W - \omega / \delta)}{R T_o \cdot \omega \cdot T'_p} \quad [54]$$

dedotta dalla [30] per $s = 0$.

Ne risulta un diagramma del tipo indicato in fig. 5.

D) *Curva T' , s .*

Dai diagrammi delle figg. 3 e 4 si ottengono graficamente coppie di valori che permettono di diagrammare la relazione T' , s , che risulta del tipo indicato in fig. 6.

E) *Curva ξ , s .*

Si ottiene analogamente al diagramma precedente dai diagrammi delle figg. 5 e 4. La curva risulta del tipo indicato in fig. 7.

F) *Curva P , s .*

Per prefissati valori di s si determinano dai diagrammi delle figg. 6 e 7 i corrispondenti valori di T' e ξ . Sostituendo nella [30] è così possibile ottenere i valori di P che corrispondono ai valori di s prescelti. Diagrammando si ottiene una curva del tipo di quella indicata in fig. 8.

La determinazione del valore massimo della pressione è ottenuto per interpolazione grafica, raffittendo i punti nella zona che appare più opportuna (1).

G) *Curva v , s .*

La curva tra v ed s si ottiene per punti dal diagramma v , y (che è un diagramma rettilineo che congiunge l'origine degli assi con il punto di coordinate $y_1 = 1$ e $v_1 = \Omega (1 - y_1)/A \mu$) ed il diagramma di fig. 4, analogamente a quanto fatto per i diagrammi di fig. 6 e di fig. 7.

Ne risulta un diagramma che ha il caratteristico andamento parabolico che si ritrova anche nelle artiglierie classiche.

I diagrammi D, E, F, G debbono esser prolungati anche per il periodo di espansione.

Lo sviluppo dei calcoli che portano alle formole risolutive è lungo e laborioso e riportarlo qui tedierebbe oltre modo il lettore. Darò quindi solo le conclusioni cui sono giunto.

Introdotte due nuove variabili:

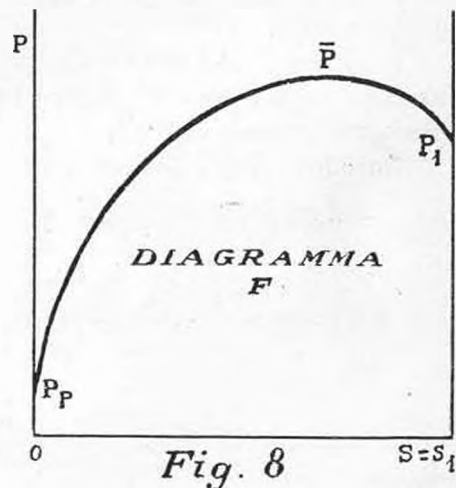
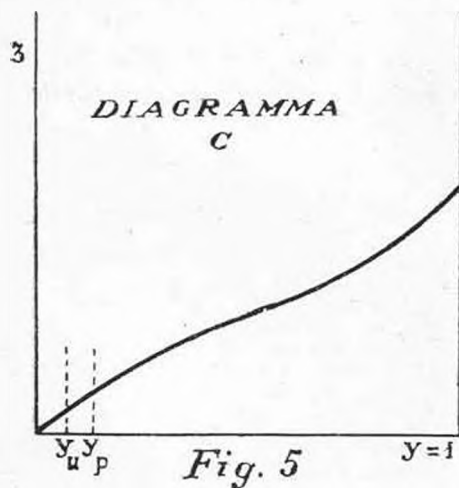
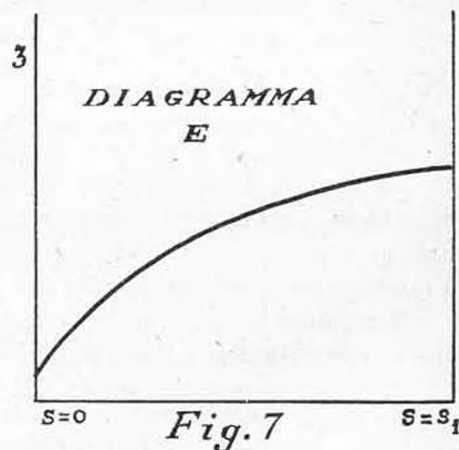
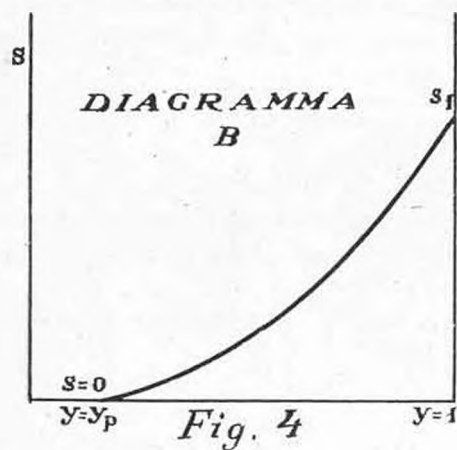
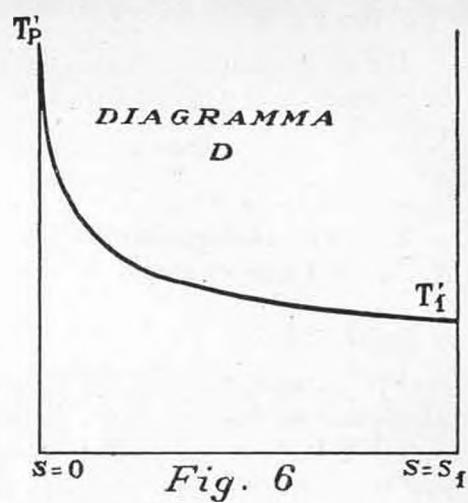
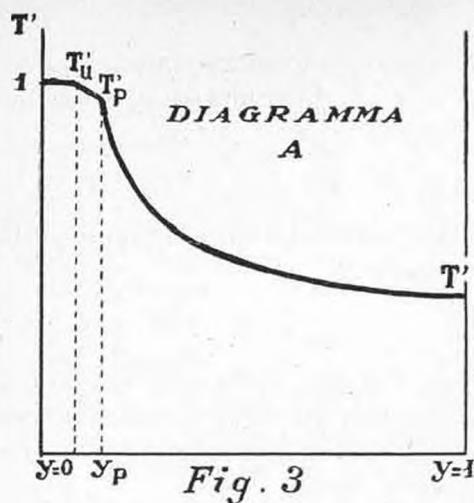
a) il rapporto di espansione

$$\xi = s/s_0 \quad [55]$$

dove s_0 è l'altezza del volume libero ridotto:

$$s_0 = \frac{W - w/\delta}{\Omega} \quad [56]$$

(1) Questo valore può essere anche immaginario, ossia verificarsi per valori di y maggiori di uno.



b) il tempo ridotto

$$\tau = \sqrt{g \cdot R T_o} \cdot \frac{t}{s_o} \quad [57]$$

si ottengono allora le relazioni finali:

$$N_r = (n-1) + n' \bar{K} \cdot \frac{S_c}{\Omega} \cdot \frac{\sqrt{T'_r}}{(d\xi/d\tau)_r} \quad [58]$$

$$(\zeta T')_r = \text{numlog} \left[\log (\zeta T')_1 - N_r \cdot \log \frac{1 - \eta \cdot \Delta \cdot \zeta^* + \xi_r}{1 - \eta \cdot \Delta \cdot \zeta^* + \xi_1} \right] \quad [59]$$

$$\left(\frac{d\xi}{d\tau} \right)_r = \sqrt{\left(\frac{d\xi}{d\tau} \right)_1 + \frac{2\omega}{p} \cdot \frac{1}{N^*} [(\zeta T')_1 - (\zeta T')_r]} \quad [60]$$

dove l'indice r sta ad indicare il valore corrente e l'asterisco indica il valore medio aritmetico della variabile tra il punto di fine combustione e il punto « r » che si considera.

Il sistema delle tre relazioni [58], [59] e [60] permette di risolvere il problema del prolungamento dei diagrammi (T', s) e (ζ, s) con il metodo delle approssimazioni successive. Fissato un opportuno valore di ξ_b (rapporto di espansione alla bocca) si ricavano dall'extrapolazione grafica dei diagrammi D ed E i corrispondenti valori approssimati T'_b e ζ_b .

Tenendo inoltre presente che in genere la v_1 di fine combustione si aggira sull'80 ÷ 90% della velocità alla bocca e che l'espressione della ν nel periodo di espansione è:

$$\nu = \sqrt{g R T_o} \cdot \left(\frac{d\xi}{d\tau} \right) \quad [61]$$

si può ottenere un valore approssimato di $(d\xi/d\tau)_b$ dalla:

$$\left(\frac{d\xi}{d\tau} \right)_b = \frac{v_b}{v_1} \cdot \left(\frac{d\xi}{d\tau} \right)_1 = (1,111 \div 1,250) v_1 / \sqrt{g \cdot R T_o} \quad [62]$$

Sostituendo i valori approssimati così ottenuti dalla terna di equazioni [58], [59] e [60] si ottiene una terna di valori più approssimati di

$$T'_b, \zeta_b, \left(\frac{d\xi}{d\tau} \right)_b$$

Ripetendo il calcolo si ottengono altri valori sempre più approssimati. In genere tre o quattro tentativi sono sufficienti per ottenere un buon accordo tra i dati messi a calcolo e quelli finali.

In corrispondenza di questi ultimi valori dalla [61] si ottiene la velocità alla bocca e dalla

$$P_b = \Delta \cdot R T_o \cdot \frac{(\zeta T')_b}{1 + \xi_b - \eta \cdot \Delta \cdot \zeta_b} \quad [63]$$

la pressione alla bocca.

Valori intermedi tra s_1 ed s_6 possono essere ottenuti, se necessari, per mezzo dello stesso procedimento; quali valori approssimati si possono introdurre quelli ottenuti per interpolazione tra i corrispondenti valori di fine combustione ed alla bocca.

Nel caso sia possibile introdurre l'ipotesi

$$y_u = y_p = 0$$

il calcolo risulta semplificato per la costituzione delle espressioni [47] o [48] rispettivamente alla [40] o [44].

E' importante sottolineare che l'introduzione delle espressioni [47] o [48] — molto meno sensibili delle [40] e [44] — permette di effettuare i calcoli con più larghe tolleranze, senza temere che piccoli errori nelle operazioni di approssimazione possano portare a grandi errori nei risultati finali.

6. - ESEMPI NUMERICI.

Il primo esempio di applicazione del metodo sarà fatto ad un cannone da 57 mm. del tipo di quello costruito dagli S. U.. I dati di partenza saranno quindi scelti coincidenti con quelli che le pubblicazioni varie hanno fornito per tale materiale. Si vedrà che i valori ottenuti applicando il metodo di calcolo illustrato in questo lavoro saranno ammissibili e si discosteranno di poco da quelli del materiale americano preso ad esempio.

Il secondo calcolo sarà effettuato per un cannone da 75 mm. costruito sullo schema del cannone da 7,5 cm. Dusenkanonen tedesco.

a) *Cannone senza rinculo da 57 mm.*

Assumiamo come dati di partenza:

- sezione dell'anima $\Omega = 0,260 \text{ dm}^2$;
- volume del bossolo $W_b = 0,705 \text{ dm}^3$;
- volume della camera a polvere $W = 2,625 \text{ dm}^3$;
- peso del proietto $p = 1,220 \text{ kg}$.

Si voglia ottenere una velocità alla bocca di 365 m/s con una lunghezza della parte rigata di circa 1,20 m.

Scegliamo come esplosivo di lancio la cordite in tubi, con semidimensione minima di 0,35 mm. Le caratteristiche della polvere di lancio risultano conseguentemente:

$$RT_0 = f = 982.000 \text{ dm} \quad ; \quad H = 7,02$$

$$w = 0,000022 \quad ; \quad A = w/l_1 = 0,00629$$

ed i coefficienti di forma: $u = 1,052$; $\lambda' = 0,05$; $a\lambda' = 0,0526$.

Calcoliamo in prima approssimazione il peso della carica di lancio:

$$\omega = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{v (RT)^*} = - \frac{\frac{1}{2} m v^2}{v \cdot 0,9 \cdot f} = 0,410 \text{ kg} \quad (1)$$

In questo caso è possibile valersi dello schema di calcolo semplificato dedotto nell'ipotesi $y_u = 0$ (2).

Con i parametri fondamentali:

$$\psi = S_c/\Omega = 0,65 ; L = 0,413 ; n' = 1,25 ; n = 1,40$$

risultano per il periodo di combustione i valori riportati in fig. 9.

Per il periodo di espansione, posto

$$\xi_b = s_b/s_o = 1,20$$

dove $s_o = W/\Omega = 10,10$, si hanno in due tentativi successivi i valori che compaiono nella seguente tabella:

	I tentativo			II tentativo		
	T'_b	ζ_b	$(d\xi/d\tau)_b$	T'_b	ζ_b	$(d\xi/d\tau)_b$
Valori posti	0,660	0,420	0,360	0,675	0,408	0,368
» ottenuti	0,675	0,408	0,368	0,679	0,407	0,369

Assunti allora:

$$T'_b = 0,675 ; \zeta_b = 0,408 ; (d\xi/d\tau)_b = 0,368$$

si ottengono:

$$\begin{aligned} v_b &= \sqrt{g f (d\xi/d\tau)_b} = 3605 \text{ dm/sec} \\ P_b &= (\Delta \cdot f \cdot \zeta_b \cdot T'_b) / (1 - \eta \cdot \Delta \cdot \zeta_b + \xi_b) = 26200 \text{ kg/dm}^2 \\ s_b &= 10,10 \quad \xi_b = 12,12 \text{ dm} \end{aligned}$$

b) *Cannone senza rinculo da 75 mm.*

Assumiamo come dati di partenza:

$$\Omega = 0,454 \text{ dm}^2 ; W_o = 1,715 \text{ dm}^3 ; W = 1,950 \text{ dm}^3 ; p = 5,700 \text{ kg.}$$

(1) Il coefficiente v è di natura empirica. Si ritiene — sulla base delle realizzazioni esaminate — che si possa fissare:

$v = 0,22$ per le soluzioni del tipo di fig. 1;

$v = 0,29$ per le soluzioni del tipo di fig. 2.

(2) Calcolando infatti esattamente il valore di y_u si ottiene:

$$y_u = y_p = \frac{1,052 - \sqrt{(1,052)^2 - 0,0526 \times 0,000065}}{0,1052} \approx 0$$

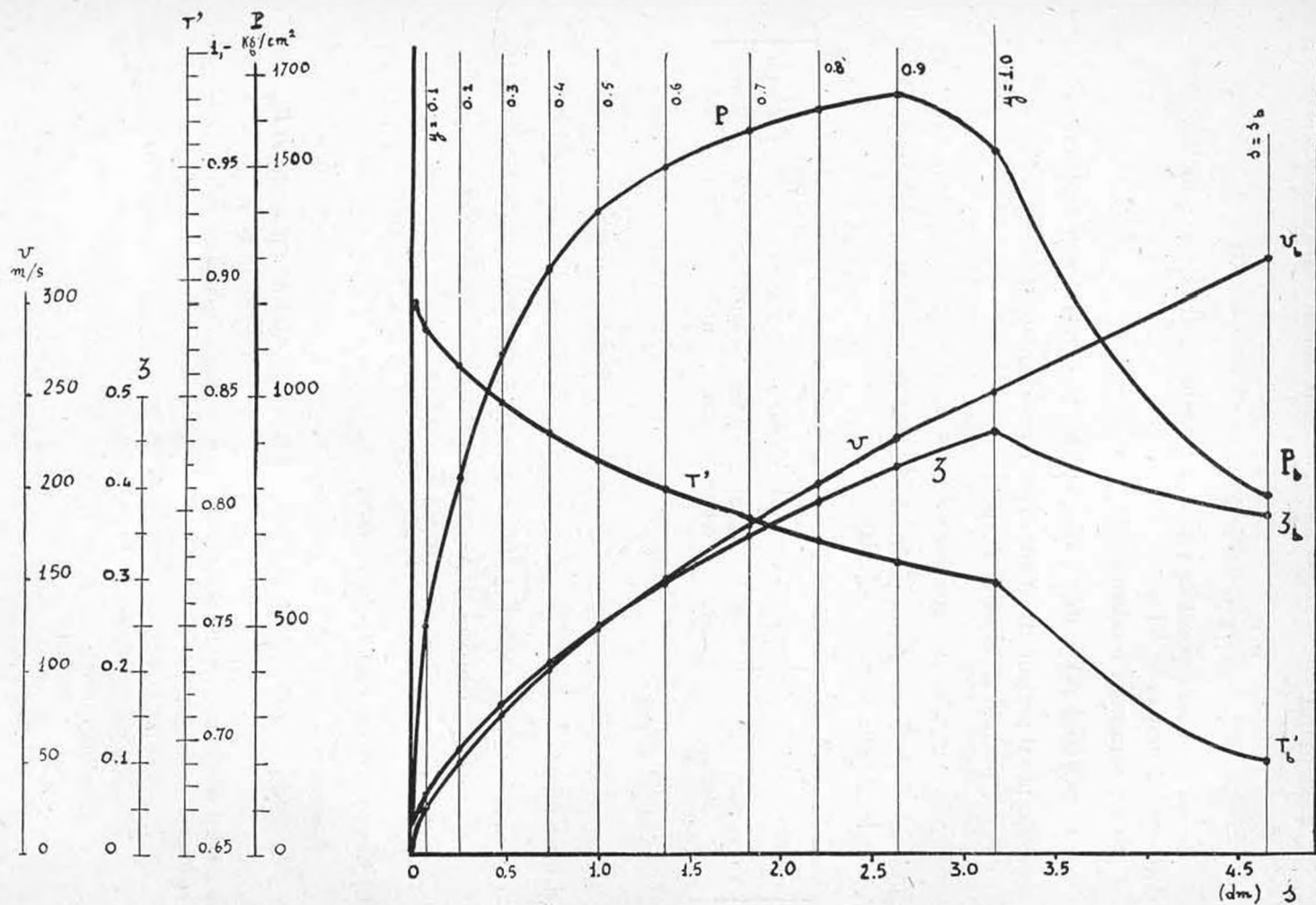


Fig. 9. - Cannone senza rinculo da 75 mm. di tipo tedesco.

Si voglia ottenere una velocità alla bocca di 325 m/s con una lunghezza della parte rigata di circa 4,70 dm.

Scegliamo come esplosivo di lancio la cordite in tubi (avente le stesse caratteristiche di quella dell'esempio precedente) con:

$$A = w/l = 0,0025 \text{ e quindi } l = 0,0087 \text{ dm} \quad (1)$$

Il peso della carica di lancio risulta — per $v = 0,29$ — eguale a:

$$w = 1,2 \text{ kg.}$$

Con i parametri fondamentali:

$$\psi = S_c/\Omega = 0,53 ; L = 0,4988 , n' = 1,25 , n = 1,40$$

risulta:

$$y_p = y_u = \frac{1,052 - \sqrt{(1,052)^2 - 0,0526 \times 0,0241}}{0,1052} \cong 0,012$$

Non si ritiene possibile adottare lo schema semplificato. Applicando quindi il calcolo generale risultano i dati riportati nel diagramma di fig. 10.

Il valore di $s_1 = 3,178$ dm, che si ottiene in tal modo risulta di circa il 16% inferiore di quello che si ottiene sotto l'ipotesi $y_u = 0$ che è invece $s_1 = 3,7999$ dm.

Per il periodo di espansione, posto:

$$\xi_b = s_b/s_0 = 1,1$$

si sono ottenuti, dopo tre tentativi i seguenti valori:

$$T' = 0,69 ; \zeta_b = 0,37 ; (d\xi/d\tau)_b = 0,33$$

e conseguentemente:

$$v_b = 324 \text{ dm} ; P_b = 778 \text{ atm} ; s_b = 4,65 \text{ dm.}$$

valori perfettamente rispondenti.

(1) La determinazione del valore A , e quindi della semidimensione minima, si può effettuare considerando che:

$$v_1 = \frac{\Omega}{\mu A} (1 - y_u) \cong \frac{\Omega}{\mu A} \cong 0,8 v_b$$

ossia

$$1/A \cong 0,81 \frac{\mu}{\Omega} v_b = 396 \quad (\text{per } \mu = 1,2 \text{ p/g})$$

BOMBE A MANO

Ten. col. di fant. Gerardo Liberti

Le bombe a mano italiane (S.R.C.M.; Breda; O.T.O.) sono offensive e presentano tutte alcune particolari caratteristiche negative per cui lo studio di nuovi tipi si impone al nostro esame in tutta la sua importanza da che vien posto sul tappeto il grave problema dell'armamento del nostro esercito.

Infatti tali bombe a mano:

- hanno una scarsa efficacia pratica;
- sono di organizzazione cinematografica complessa e perciò costosa;
- non sempre funzionano sulla neve;
- rappresentano, se inesplose, un notevole pericolo per le truppe amiche;
- sono, come si è detto, solamente del tipo offensivo; gli altri tipi erano allo studio ancora nel 1943.

Esaminiamo in dettaglio le suddette caratteristiche:

1° - Efficacia.

E' in funzione, come è noto, della natura dell'involucro e del tipo della carica di scoppio.

L'involucro delle nostre bombe è di alluminio (spessore medio mm. 0,8, peso sui $30 \div 40$ grammi); la carica era di tritolo e binitronaftalina in tutti i tre tipi, poi vennero adottate le cheddite e l'N.T.P./28 (nitrato d'ammonio, T₄ e paraffina).

All'atto dello scoppio, l'involucro e le altre parti della bomba si frantumano in un rilevante numero di schegge in genere da 250 a 300, delle quali circa lo 0,4 % di peso superiore ad 1 grammo. Esse vengono proiettate a $10 \div 12$ metri al massimo.

A 20 metri arrivano solamente circa l'1,3 % delle schegge, però, data la loro leggerezza, anche a distanze sensibilmente minori non tutte hanno ancora la forza di penetrazione necessaria per oltrepassare gli abituali indumenti di panno e per produrre ferite capaci di mettere effettivamente il nemico fuori combattimento. In definitiva, le bombe italiane erano mortali solo nel caso che colpissero l'uomo in pieno, cosa che ben raramente può verificarsi in combattimento; bastavano $2 \div 3$ metri di distanza perchè gli effetti si riducessero ad un certo numero di insignificanti scalfitture e ad uno stordimento passeggero.

Ripetute prove di efficacia vennero effettuate nell'anteguerra al 3° Centro Esperienze di Fanteria facendo esplodere su una piastra di acciaio 20 bombe (Breda) al centro di un gruppo di pupazzi tridimensionali in legno di abete, rivestiti di indumenti militari, collocati a m. 3, a 5 ed a 10 di raggio dal punto di scoppio.

I risultati sono riportati nello specchio seguente:

Pupazzi N.	Distanza m.	Totale schegge penetrate nel legno per mm.										Totale	Media delle schegge	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		messe a sito per ogni bomba	ricevute da ogni pupazzo
4	3	117	68	35	26	7	7	—	3	—	4	267	13	3
4	5	29	22	23	4	8	—	—	1	—	—	83	4,1	1
8	10	10	3	1	1	—	—	—	—	—	—	15	1,8	0,2

Considerando un complesso di circa 5600 schegge (ogni bomba ne produce in media circa 280) dall'esame della tabella si osserva che in pratica l'efficacia:

- non supera i 3 metri, alla cui distanza, per ogni bomba, ciascun pupazzo è stato colpito in media da 2 schegge (1,8);
- diventa quasi trascurabile ai 5 metri;
- è nulla a 10 metri.

Lo si dichiarava con compiacimento che le nostre bombe erano di effetto soprattutto morale, e non si teneva conto che l'effetto morale è assolutamente effimero se in definitiva non trova la sua ragione d'essere in una palese efficacia materiale.

« I mortaretti della festa di S. Gennaro » le chiamavano con spontanea ironia i soldati napoletani che di bombe di carta sono conoscitori fin dall'infanzia; e come i mortaretti danno un primo sussulto alle folle che vengono sorprese dai loro scoppi profondi, le nostre bombe non potevano che esercitare una limitata e passeggera influenza sui soldati nemici che prima di venirne a contatto dovevano avere superata la prova imposta loro dal tiro di proiettili ben più micidiali come quelli dei mortai e dell'artiglieria.

Il problema relativo all'efficacia delle bombe a mano offensive si trova racchiuso fra due requisiti esattamente antitetici fra di loro.

Infatti si richiede, da un lato, la maggiore efficacia pratica possibile, mentre dall'altro lato, per evidenti necessità d'impiego, si vuol limitare questa efficacia ad un raggio massimo di 10 ÷ 12 metri, cioè superiore di poco della metà della distanza normale di lancio (20 metri).

Siccome l'efficacia è in funzione diretta del numero e del peso delle schegge, determinati dalla natura dell'involucro e dalla specie della carica,

ne deriva che per avere una buona efficacia occorre che le schegge siano relativamente pesanti, ma ciò si oppone al secondo requisito perchè a parità di potenza di scoppio, entro certi limiti, a maggior peso di schegge corrisponde una maggiore gittata.

I tecnici si trovano di fronte ad un problema di soluzione difficile, in modo particolare per le bombe offensive, in quanto non è possibile regolare bene la frantumazione di involucri in lamierino di ferro o di alluminio.

E' noto che anche nelle bombe difensive a frattura prestabilita la scheggiatura non si verifica regolarmente lungo i solchi di frantumazione.

La soluzione, come sempre avviene in questi casi in cui attraverso l'antitesi di due elementi opposti deve sbocciare un determinato fattore, non può essere che di compromesso, e cioè ci si deve accontentare di ridurre da una parte il coefficiente efficacia e dall'altra il coefficiente sicurezza.

Vi sarebbe in effetti un'altra soluzione: quella cioè di aumentare la distanza di lancio della bomba applicandovi un manico che aumenti il braccio di leva nel lancio (soluzione tedesca della bomba mod. 24).

Questa soluzione presenta però alcuni inconvenienti e fra tutti i più importanti:

- aumento sensibile del peso e dell'ingombro delle bombe e dei relativi imballaggi;

- necessità di un maggiore spazio per il lancio che a volte può riuscire perciò ostacolato in zone boschive o cespugliose;

- maggior costo.

Comunque, penso che ad una bomba che dia una grande sicurezza ma una modestissima efficacia pratica, sia da preferirsi una di maggiore efficacia anche se si deve affrontare la probabilità, invero piuttosto modesta, di essere colpiti da qualche scheggia anomala e per dimensioni e per distanza.

Se ci si dovesse irrigidire richiedendo la sicurezza assoluta nei proiettili scoppianti, l'artiglieria ed i mortai dovrebbero scomparire dai campi di battaglia o sarebbe necessario assumere tali distanze di sicurezza da rendere praticamente nulle le azioni di appoggio e di accompagnamento.

Nel 1941 ÷ 42 si iniziarono nel nostro esercito gli studi per aumentare l'efficacia delle bombe a mano; essi vennero orientati verso l'adozione:

- di un involucro in acciaio in sostituzione dell'alluminio nelle bombe regolamentari mod. 35:

- di una bomba in lamiera di acciaio, con manico tipo tedesco.

I risultati, nel complesso, furono soddisfacenti come si può constatare confrontando con la precedente la seguente tabella, nella quale sono indicati i risultati di prove effettuate a stretto confronto con bombe Breda con involucro di acciaio.

Emerge dal confronto che l'efficacia delle bombe con involucro in acciaio aumentò di circa il 50 % sia come quantità di schegge che colpiscono i pupazzi, sia come effettiva capacità di penetrazione.

Pupazzi N.	Distanza m.	Totale schegge penetrate nel legno per mm.														Totale	Media delle schegge	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	30	messe a sito per ogni bomba		ricevute da ogni pupazzo	
4	3	166	57	36	11	25	7	2	1	1	7	—	3	3	317	16	4	
4	5	49	30	29	6	9	2	—	1	—	1	—	—	—	127	6,3	1,5	
8	10	29	9	6	2	2	6	—	—	—	—	—	—	—	49	2,4	0,3	

Anche le prove effettuate con bombe analoghe al tipo tedesco mod. 24 diedero buoni risultati e perciò i competenti organi tecnici si orientarono verso l'adozione dei tipi in acciaio, ma gli eventi del settembre '43 impedirono ogni ulteriore sviluppo del problema.

2° - Organizzazione cinematica e costo.

Il sistema di funzionamento universale ad urto (assicurato cioè comunque la bomba urti contro un mezzo resistente) è necessariamente piuttosto complesso perchè richiede due dispositivi di sicurezza, uno a mano ed uno automatico, ed una organizzazione cinematica con masse battenti (Breda-O.T.O.), oppure con gli snodi (S.R.C.M.), con molle antagoniste, piani inclinati, e, a volte, con dispositivi di inertizzazione.

Infatti la Breda è costituita da non meno di 25 pezzi; la O.T.O. da 20; la S.R.C.M. da 27 pezzi, senza considerare, per tutte, le varie parti della cassula e del detonatore.

Si tratta in genere di pezzi ricavati per stampaggio, ma che richiedono diversi particolari di lavorazione (circa 120 nella S.R.C.M.) perchè sono tutti molto lavorati e presentano varie particolarità e dettagli di non lieve importanza per il funzionamento della bomba.

Essi richiedono lavorazioni accurate ed attrezzature perfette e costose che evidentemente incidono in misura notevole sia sul prezzo unitario delle bombe, sia sulla possibilità quantitativa della produzione. Si rammenta in proposito che, secondo il generale Favagrossa, negli anni 1938-39 le possibilità della nostra industria si aggiravano su una produzione pari al 47 % del fabbisogno (Generale Favagrossa: *Perchè perdemmo la guerra*, pag. 54) e che essa aumentò progressivamente fino ad un massimo di 190.000 bombe giornaliere nel 1943.

Il costo delle bombe italiane era, prima della guerra, di L. 11,15; nella scorsa primavera una bomba S.R.C.M. costava 620 lire.

Si tenga poi presente che le nostre sono quasi completamente in alluminio, materiale notoriamente più costoso del ferro, insostituibile per altri usi bellici (aeronautica), e la cui produzione nel 1940 si aggirava sul 50 % del fabbisogno (Generale Favagrossa, opera citata, pag. 127).

3° - *Funzionamento.*

Funzionano molto bene anche sul terreno poco consistente le S.R.C.M. e le Breda; lasciano spesso a desiderare le O.T.O. che danno percentuali piuttosto elevate di mancati funzionamenti.

Sulla neve tutti i tre tipi danno luogo ad una elevata percentuale di mancati scoppi.

Inoltre, in climi molto rigidi (Russia), per effetto dei passaggi dall'esterno freddissimo agli ambienti caldi delle isbe o dei ricoveri e da queste di nuovo all'esterno, si formava un velo di ghiaccio attorno all'involucro, alla finestrella del tegolino di sicurezza ed al tegolino stesso.

In tal modo non si sfilava la sicurezza e le bombe non esplodevano.

Com'è noto le bombe inesplose costituiscono un serio pericolo per le truppe amiche, sia in addestramento sia in combattimento; quelle della S.R.C.M. hanno è vero un sistema di sicurezza, che non dà però la necessaria garanzia e perciò, in ultima analisi, si traduce in una complicazione costruttiva di dubbia utilità pratica.

* * *

Dopo questo breve esame retrospettivo esaminiamo nel particolare quali potrebbero essere gli orientamenti da seguire nell'impostazione dello studio relativo alle nuove bombe a mano.

E' necessario premettere che occorrono bombe a mano offensive, difensive, incendiarie - fumogene e da esercitazione. Ogni tentativo volto alla ricerca di un tipo di bomba che sia ad un tempo difensiva e offensiva con assurda soluzione di compromesso, è destinato all'insuccesso e si risolve in una dannosa perdita di tempo; l'esperienza ce lo ha dimostrato a luce meridiana e di essa bisogna far tesoro. Oggi più che mai.

Le nostre bombe dovrebbero avere le seguenti caratteristiche:

— organizzazione meccanica estremamente semplice e per quanto possibile uguale nei diversi tipi;

— funzionamento assicurato anche su terreni molli, sulla paglia, neve, ecc.;

— costo limitato.

Quest'ultimo requisito è un naturale corollario del primo.

In particolare:

L'organizzazione meccanica ridotta alla più semplice espressione si realizza, a mio parere, solo abbandonando il sistema del funzionamento universale all'urto ed adottando l'accensione a tempo, già in uso nell'ultima guerra presso tutti gli altri eserciti belligeranti.

Diremo subito che le obiezioni che nel passato erano care agli oppositori del sistema a tempo non hanno oggi alcun fondamento in quanto:

— non è possibile, data la brevità del ritardo ($4 \div 5''$), che la bomba sia rilanciata dal nemico nè che esso, nella pluralità dei casi, possa sottrarsi agli effetti dell'esplosione;

— sono da escludere, quasi in linea assoluta, scoppi anticipati, sia perchè oggi l'industria è in grado di fornire i ritardi pirici di grande precisione e sicurezza nel funzionamento, sia perchè nelle attuali bombe la catena incendiava è sicuramente separata dalla carica di scoppio (nelle vecchie S.I.P.E. era separata da un semplice tubetto di gomma).

L'accensione a tempo viene realizzata:

— a *sfregamento*, come nelle nostre S.I.P.E. della prima guerra mondiale;

— a *percussione a mano*, come nelle nostre B.P.D. della guerra anzidetta;

— a *percussione automatica* lungo la traiettoria, come nelle bombe inglesi n. 36 e nelle francesi D. 37 ed F 1;

— a *strappo*, come nelle bombe a mano tedesche: ovali, cilindriche e mod. 24 a bastone.

Escludendo i due primi sistemi, che diedero luogo ad inconvenienti che non è il caso ora di esaminare, rimangono da considerare quelli a percussione automatica e quelli a strappo.

Sistema a percussione automatica (fig. 1).

In genere consta di: una sicurezza a mano e di una automatica; un congegno di percussione con percussore e molla; un complesso pirico d'accensione con cassula, ritardo o miccia e detonatore.

Si tratta quindi di un complesso di $4 \div 5$ organi a loro volta costituiti da diverse parti, che richiedono una certa accuratezza di lavorazione e che in buona parte costituiscono, per il loro peso, dei veri e propri proiettili che all'atto dello scoppio vengono proiettati a distanze molto superiori a quelle delle schegge d'involucro delle bombe offensive e rappresentano perciò un pericolo per il lanciatore (inconveniente analogo alla sfera di piombo delle O.T.O.).

Sistema a strappo (fig. 2).

E' costituito in genere solamente da un semplice cannello a frizione (cordicella, filo di ferro rivestito, tubetto con miscela a frizione) del ritardo e detonatore. Pezzi leggerissimi che pesano al massimo $1 \div 2$ grammi e che d'altra parte possono essere frantumati nell'esplosione.

Emergono evidenti, da questo breve esame, i vantaggi e gli svantaggi presentati dai due sistemi.

E precisamente rispetto al sistema a percussione, quello a strappo: è molto più semplice, meno costoso, non è costituito da parti pesanti che pos-

sono divenire proiettili pericolosi, elimina ogni ulteriore pericolo nelle bombe inesplose.

A mio avviso il sistema a strappo non presenta inconvenienti, ed alla possibile obiezione che a strappo avvenuto la bomba deve essere comunque

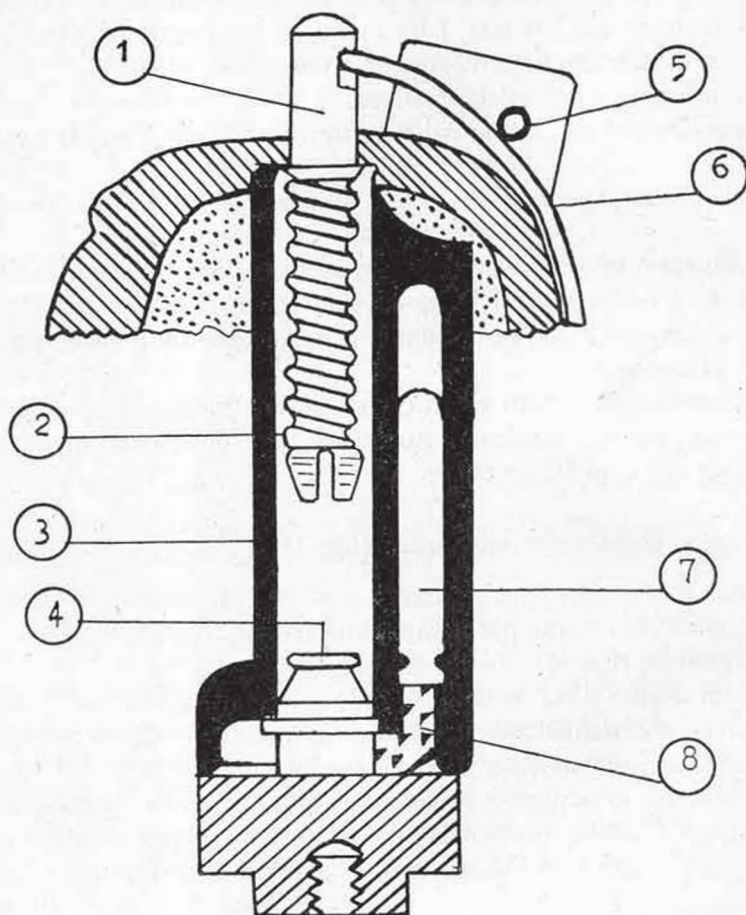


Fig. 1. - Sistema a percussione automatica.

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Percussore | 5. Spillo di sicurezza |
| 2. Molla del percussore | 6. Leva del percussore |
| 3. Manicotto centrale | 7. Detonatore |
| 4. Cassula | 8. Ritardo |

lanciata, si può rispondere che in combattimento ben raramente si potrà rimettere a sito la sicurezza a mano estratta da una bomba a percussione automatica, la quale prima o poi dovrà essere ugualmente lanciata.

Accenditore a frizione B. Z. E.

Accenditore a frizione B. Z. 24

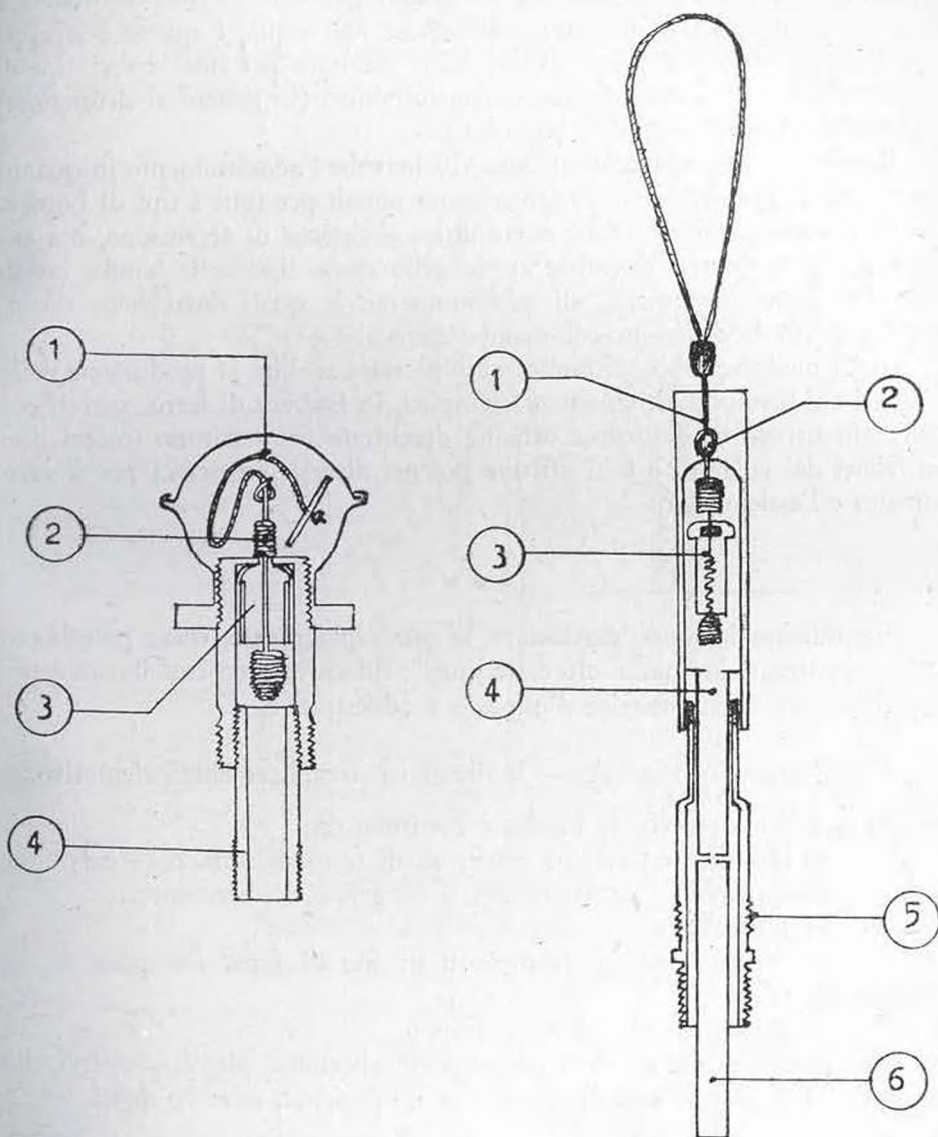


Fig. 2.

- 1. Cordicella di strappo
- 2. Filo di ferro rivestito
- 3. Miscela a frizione
- 4. Tubetto con ritardo

- 1. Cordicella di strappo
- 2. Filo di ferro rivestito
- 3. Miscela a frizione
- 4. Tubetto con ritardo
- 5. Adattatore
- 6. Detonatore

Si può quindi concludere che il sistema d'accensione più semplice e conseguentemente più economico, che dà grandi garanzie di funzionamento e di sicurezza in qualsiasi terreno, sulla neve e nell'acqua, è quello a strappo e perciò esso dovrebbe a mio avviso essere adottato per tutti i vari tipi di bombe salvo le lievi varianti alla catena incendiva (in genere al detonatore) imposte dal tipo di esplosivo impiegato.

Il sistema unico di accensione semplificherebbe l'addestramento in quanto le operazioni preparatorie e di lancio sono uguali per tutti i tipi di bombe.

E non solamente dovrebbe essere unico il sistema di accensione, ma anche l'involucro esterno dovrebbe essere dello stesso tipo nelle bombe offensive, fumogene, incendiarie, di addestramento le quali dovrebbero distinguersi solo per la differente colorazione esterna.

In tal modo verrebbe di molto semplificata e snellita la produzione delle bombe i cui involucri estremamente semplici, in lamiera di ferro, potrebbero essere allestiti da modestissime officine decentrate nel territorio (oserei dire dai fabbri dei villaggi) e fatti affluire poi nei diversi pirotecnici per il caricamento e l'assiemaggio.

* * *

Esaminiamo in modo particolare, se pur rapidamente, come potrebbero essere organizzate le bombe offensive, quelle difensive e da esercitazione per rispondere alle varie necessità d'impiego e addestrative.

Bombe offensive (fig. 3). — Il disegno è semplicemente orientativo.

Da esso si osserva che la bomba è costituita da:

- un bicchiere esterno in lamierino di ferro di mm. $0,3 \div 0,4$;
- un coperchio con attacco per il congegno d'accensione;
- un portacarica;
- un riempimento di frammenti di filo di ferro del peso di un grammo circa l'uno;
- gli organi di accensione a strappo.

I frammenti di filo di ferro costituiscono altrettanti piccoli proiettili che non dovrebbero, per la loro leggerezza, essere proiettati oltre 10 metri.

Bombe difensive. — Caratteristica fondamentale è la possibilità di proiettare a $50 \div 60$ metri, e quindi a distanza maggiore di quella di lancio, un certo numero di schegge, in genere di ghisa ($50 \div 55$ nelle mod. 36 inglesi) del peso medio di $10 \div 15$ grammi, corrispondenti a parti dell'involucro predisposte mediante solchi di frantumazione trasversali e longitudinali.

La pratica dimostra che ben di rado le schegge si separano secondo i suddetti solchi, ma si producono degli scheggioni a volte anche pari ad $1/3 \div 1/4$ dell'involucro che vengono proiettati fino a $100 \div 150$ metri.

Ad evitare tale irregolarità di frantumazione, che si traduce poi in una minore efficacia tattica, la nuova bomba difensiva (fig. 4) potrebbe essere così costituita:

— un involucro di lamiera di ferro dello stesso tipo, dimensione e materiale delle bombe offensive;

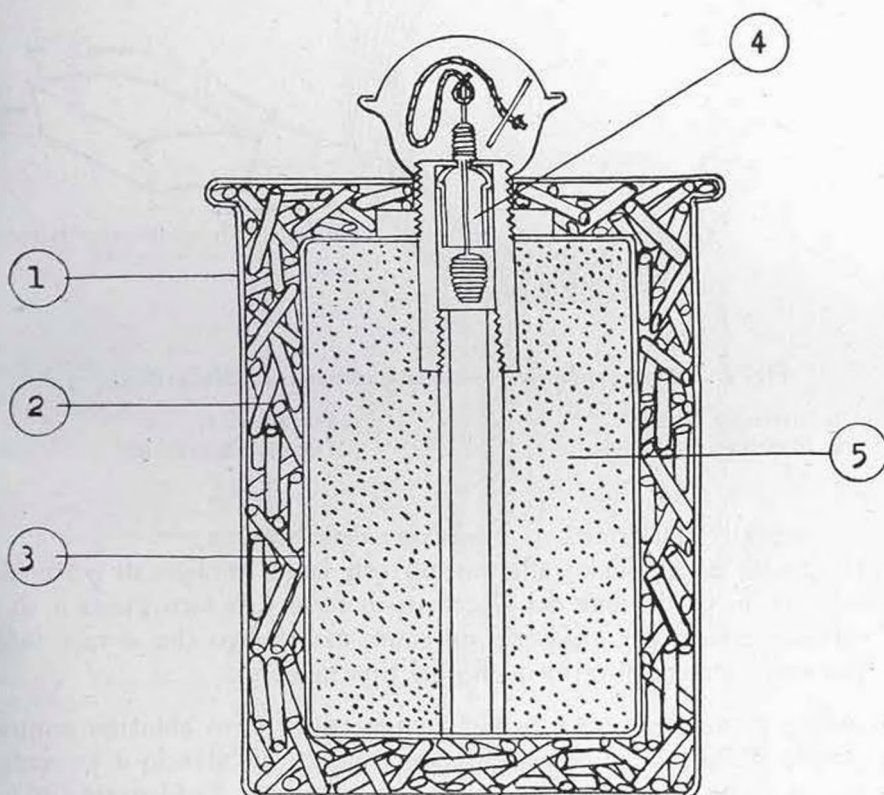


Fig. 3. - Bomba offensiva (Sezione longitudinale - Scala 1:1).

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| 1. Involucro esterno | 4. Organi d'accensione |
| 2. Frammenti di filo di ferro | 5. Carica di scoppio |
| 3. Portacarica | |

— un rivestimento interno costituito da 48 frammenti di ferro a sezione trapezoidale (base 15×17 spessore massimo mm. 8) del peso di gr. 11 circa l'uno;

— un portacarica;

— organi dell'accensione a strappo.

Sono evidenti i vantaggi offerti dalla bomba proposta:

— unicità di forma e dimensioni;

— regolarità assoluta nella quantità e peso delle schegge;

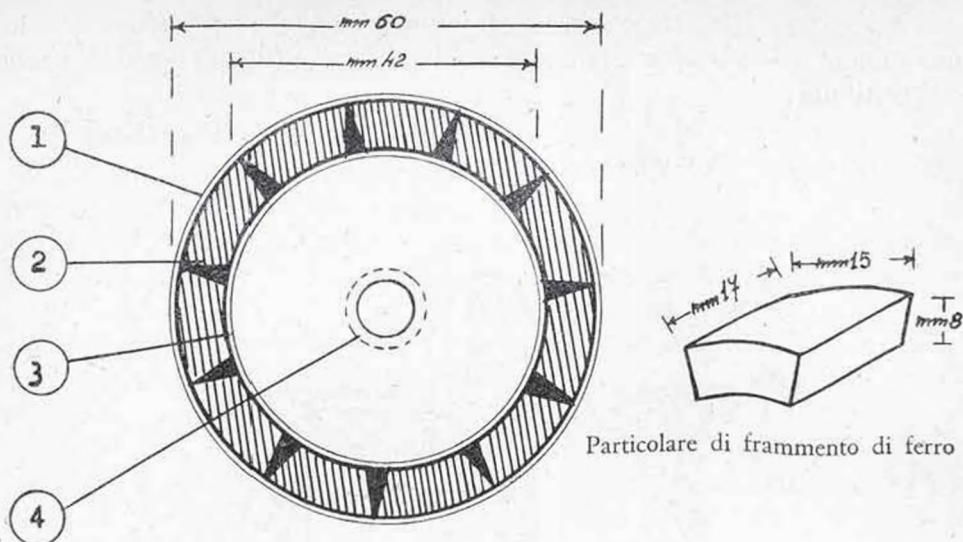


Fig. 4 - Bomba difensiva (Sezione trasversale - Scala 1:1).

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. Involucro esterno | 3. Porta carica |
| 2. Frammenti di ferro | 4. Organi d'accensione |

— maggiore uniformità di proiezione delle schegge;

— facilità e rapidità di allestimento con largo impiego di personale femminile per la produzione dei blocchetti di ferro e la loro messa a sito.

Non ho elementi per giudicare sul costo, ma ritengo che se non inferiore, esso non supererà di certo quello del tipo mod. 36.

Bombe per addestramento. — Nel campo addestrativo abbiamo sempre avute grandi limitazioni imposte da ferree esigenze di bilancio e possiamo affermare in piena coscienza che, salvo rare eccezioni, l'addestramento al lancio delle bombe non ha goduto presso i reparti di considerazione ed estensione proporzionate all'importanza.

Per ragioni psicologiche le pietre rappresentano un mediocre surrogato per insegnare la tecnica del lancio, mentre le bombe da esercitazione S.R.C.M. non risolvono il lato economico del problema dato il loro elevato costo (L. 3.000 una bomba con 9 cariche).

Penso che occorrono delle bombe che:

— siano ad un tempo molto economiche e quanto più è possibile simili per peso, dimensioni e forma a quelle da guerra;

— rispondano alle tre diverse fasi dell'addestramento: tecnica del lancio; tecnica dell'accensione e del lancio; lancio in campo tattico.

Sarebbero perciò necessarie delle bombe:

— completamente inerti per la tecnica del lancio;

- parzialmente inerti per la tecnica dell'accensione e lancio;
- a caricamento ridotto per il lancio in campo tattico.

Bombe completamente inerti. — Costituite da un involucro simile a quello delle bombe ordinarie, ma più robusto (atto cioè a sopportare gli effetti

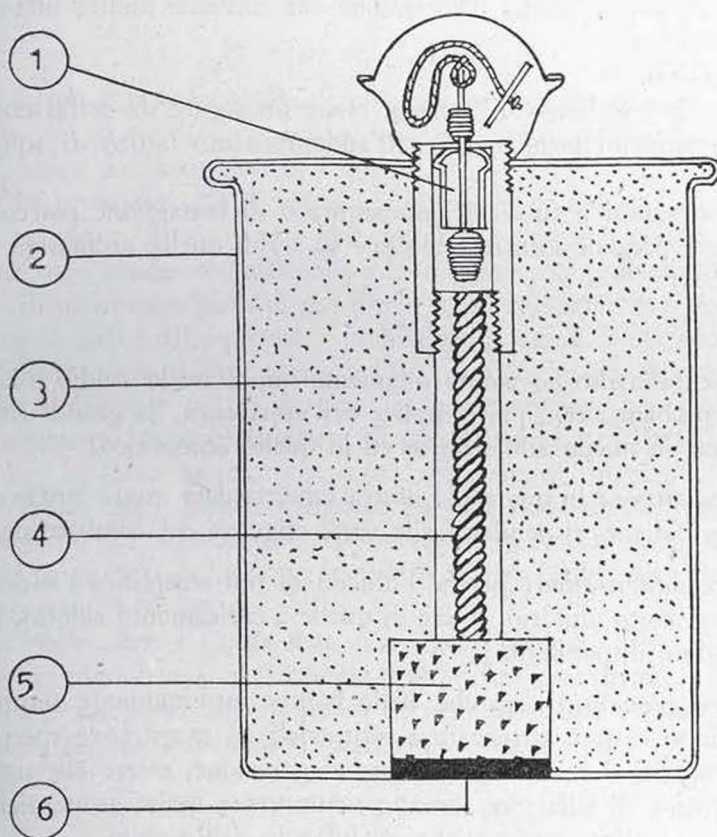


Fig. 5. - Bomba a caricamento ridotto (Sezione longitudinale - Scala 1:1).

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. Accenditore a strappo senza detonatore | 4. Miccia a combustione lenta |
| 2. Involucro esterno | 5. Carica di polvere nera e carbone |
| 3. Sostanza inerte | 6. Tappo di legno |

dei molti lanci) riempito da una sostanza inerte a base di catrame o sabbia, atte a sopportare gli urti senza frantumarsi, prive di congegni d'accensione.

Bombe parzialmente inerti. — Come le precedenti, ma con il sistema d'accensione nel quale la catena incendiva è sostituita da un pezzetto di miccia a lenta combustione. Sono ricaricabili.

Bombe a caricamento ridotto (fig. 5). — Devono produrre uno scoppio od una fumata che abbiano un certo effetto e non costituiscano un eccessivo pericolo per i lanciatori maldestri e per il personale istruttore.

Ritengo che potrebbero rispondere allo scopo delle bombe analoghe a quelle illustrate nello schizzo.

Sono simili a quelle bombe parzialmente inerti; ne differiscono per la forma del tubetto porta sistema d'accensione che contiene inoltre una carichetta di polvere nera.

Sono ricaricabili.

Queste bombe dovrebbero, di norma, essere impiegate sia nella seconda parte dell'addestramento tecnico, sia nell'addestramento tattico di squadra e di plotone.

Nelle dimostrazioni a fuoco di compagnia o di battaglione potrebbero essere impiegate a parziale sostituzione (40 ÷ 50 %) di quelle ordinarie.

* * *

Con il presente lavoro ho voluto solamente impostare lo studio e la discussione di un problema che, pur semplice nell'apparenza, ha grandi riflessi nel campo tattico, in quello addestrativo ed in quello economico:

nel campo tattico: in quanto la nostra fanteria deve essere largamente dotata di bombe italiane, rispondenti alle varie esigenze del combattimento;

nel campo addestrativo: perchè l'unicità di tipi semplifica l'addestramento, ed il basso costo unitario, specie di quelle a caricamento ridotto, consente una maggiore disponibilità;

nel campo economico: perchè delle bombe estremamente semplici, che non richiedono costose attrezzature industriali nè maestranze specializzate, che possono, mi si permetta la voluta esagerazione, essere allestite da modestissime officine di villaggio, saranno sicuramente molto economiche e non graveranno con cifre astronomiche sul bilancio dell'esercito.

MECCANICA DELLE ARMI AUTOMATICHE

Ten. col. d'art. (S.Te.A.) Luigi Petrone

Il progetto o lo studio di un'arma automatica richiede una conoscenza profonda di balistica interna ed una non meno profonda conoscenza della meccanica del congegno di recupero.

In mancanza di tali nozioni, il progetto di un'arma richiede una quantità esagerata di esperienze, che comportano spese e perdita di tempo e, sovente, non conducono alla soluzione migliore del problema proposto.

In un'arma a presa di gas è necessario conoscere con buona approssimazione la curva delle pressioni interne nella canna. Nota quindi la pressione nel punto dove si è praticato il foro, è nota, in via approssimativa, ma sovente sufficiente per la pratica, la forza motrice che agisce sul congegno di recupero. Infatti il prodotto di tale pressione per l'area del foro fornisce in kg. la forza motrice che agirà sulla massa rinculante.

In un'arma, invece, a rinculo parziale della canna il principio della invariabilità del baricentro arma-proietto fornisce con esattezza la velocità iniziale di rinculo della canna e quindi si può facilmente calcolare quella del congegno di recupero.

Nelle armi a canna fissa si applica l'analogo principio, tenendo conto che la canna è fissa ed il rinculo è effettuato unicamente dall'otturatore.

Per un primo accertamento circa la possibilità di poter adottare questo ultimo sistema è necessario calcolare, con la formula:

$$S = \frac{p}{G} X$$

lo spazio percorso dall'otturatore quando la pallottola ha abbandonato l'arma.

Nella formula:

S = spazio percorso dall'otturatore;

p = peso del proietto;

G = peso dell'otturatore;

X = percorso del proietto nell'anima.

Si vede subito che tale sistema è applicabile ad armi a canna corta (X piccolo) ed inoltre a peso relativamente notevole del congegno di chiusura (G grande).

Argomento importante è il riscaldamento della canna derivante dalla celerità di tiro ed essenzialmente del lavoro di attrito effettuato dalla pallottola nella canna.

Tale lavoro, per una rigatura elicoidale a passo costante, è dato per un colpo dalla formula:

$$L_n = \frac{m}{2} v^2 \frac{\pi f}{2 n}$$

dove:

$\frac{m}{2} v^2$ = energia alla bocca in kgm.;

f = coefficiente di attrito;

n = passo della rigatura espresso in calibri.

Mediante l'equivalente termico del chilogrammetro è facile calcolare il calore ed il conseguente sbalzo di temperatura.

Non ho affrontato di proposito il problema del ritmo più conveniente per una data arma automatica. Ritengo che tale dato deve essere fornito al tecnico da chi deve impiegare l'arma. In conclusione è un problema d'impiego. Con le formule che seguono, è possibile progettare un'arma automatica col ritmo che si desidera.

L'aver trascurato tale esame portò, nella guerra '15-18, all'adozione della pistola mitragliatrice a grande celerità di tiro, per cui il fante, giudice intelligente e spietato, le attribuì subito il titolo di « pernacchia ».

Trascuro qui di trattare la teoria delle molle, che è ampiamente trattata nei manuali tecnici.

I mezzi moderni di balistica sperimentale permettono uno studio molto approfondito di tutti i fenomeni relativi allo sparo.

Con l'impiego di piezometri al quarzo e oscillografi a raggi catodici è possibile avere fotografie di tutta la curva delle pressioni e ancora di poter ricavare la legge della caduta di pressione alla bocca dopo l'uscita del proietto. Tale ultimo dato è importantissimo perchè è noto che la velocità di rinculo, dopo l'uscita del proietto dalla bocca dell'arma, aumenta a causa dei gas effluenti.

Esperienze del passato effettuate col velocimetro permettevano di calcolare la velocità massima di rinculo mediante la formula:

$$V_o = \frac{(p + \frac{3}{2} \omega) v_o}{G}$$

dove

p = peso del proietto;

G = peso della massa rinculante;

ω = peso della carica;

v_0 = velocità del proietto alla bocca;

ϑ = una costante determinata empiricamente.

Mediante il velocimetro, Krupp aveva ottenuto per le balistiti:

$$\vartheta = 2,0 \div 2,5,$$

mentre secondo altre esperienze

$$\vartheta = 2,3 - \frac{v_0}{1000}$$

L'impiego del quarzo piezoelettrico e di oscillografi a raggi catodici permette di ricavare esattamente la velocità del proietto alla bocca: basta infatti moltiplicare l'area del diagramma (P, t) così ottenuto per la sezione retta del proietto e dividere per la massa del proietto stesso. Dal diagramma (P, t) limitato alla bocca si ha anche la velocità di rinculo applicando la nota formula:

$$V_0 = \frac{(p + \frac{1}{2} w)}{G} v_0$$

La Ditta E. Breda di Brescia dispone di un ottimo gabinetto sperimentale ed effettua correntemente misure di pressioni con piezometri al quarzo e misure di tempi brevissimi con oscillografi catodici.

In una nota annessa al presente studio ho potuto ricavare mediante diagrammi ottenuti con mezzi della Ditta Breda una legge della caduta della pressione dopo l'uscita del proietto che è certamente più approssimata di quella lineare del Vallier.

E' chiaro che il diagramma (P, t) extrabocca è quello dell'impulso che eguaglia la variazione della quantità di moto della massa rinculante. Si può avere così esattamente la velocità massima di rinculo e, in generale, la legge del rinculo in tale periodo.

Per quanto riguarda la balistica interna di un'arma in progetto è sufficiente, nota la velocità iniziale e la pressione massima, poter applicare le formule e tabelle di Heydenreich, per poter ottenere, con la massima semplicità, tutti i dati che occorrono.

La caratteristica di un'arma automatica è essenzialmente nel congegno di ricupero. E' perciò su questo ultimo argomento che si differenzia dalle altre armi.

Altra questione è quella sostenuta da molte ditte costruttrici di armi automatiche e semiautomatiche e cioè che dall'organo elastico di un'arma automatica non si può pretendere un funzionamento di ricupero, come, o quasi, si ha nel complesso freno-ricuperatore di un cannone e perciò bisogna accettare gli urti e le conseguenti vibrazioni. Non è vero. Gli urti e le conseguenti vibrazioni si possono eliminare o per lo meno rendere tollerabili. Gli urti di molte armi automatiche attualmente in uso sono a volta notevoli ed il

tiratore ne sopporta la loro influenza dannosa, senza tener conto delle martellature che si verificano nelle armi, sia alla fine del rinculo, sia nel ritorno in chiusura.

Il calcolo del rendimento delle coppie cinematiche è noto dalla meccanica applicata alle macchine e può essere facilmente applicato allo studio di un'arma automatica.

Ciò che non è noto è il calcolo delle accelerazioni, delle velocità e delle durate della massa rinculante e degli urti.

Tale calcolo forma oggetto del presente studio.

Si ritiene opportuno aggiungere che, per semplicità di calcolo, lo studio è stato effettuato per un angolo di tiro nullo (quindi nulla la componente del peso della massa rinculante). E' però possibile, con le formule che seguono, effettuare una verifica, quando l'angolo di tiro è maggiore di zero, introducendo di volta in volta nelle formule la componente del peso per l'angolo di tiro considerato.

CALCOLO DEL MOTO NEL RITORNO IN POSIZIONE DI CHIUSURA.

Alla fine della corsa di rinculo la molla recuperatrice è compressa, la velocità di rinculo è nulla, perchè l'energia di rinculo è stata totalmente assorbita dagli attriti e dalla compressione della molla.

Inizia quindi l'inversione del moto. In tale moto la forza motrice è data dalla molla; occorre inoltre tener conto dell'attrito e dello sforzo per estrarre la nuova cartuccia dal caricatore. Tale ultimo sforzo, perfettamente misurabile al dinamometro, è esercitato per parte della lunghezza della cartuccia (a seconda dei vari tipi di caricatori) e non per tutta la corsa dell'otturatore: può però, per semplicità di calcolo, essere considerato come una forza costante, che agisca per tutta la corsa di ritorno, data dal prodotto dello sforzo misurato al dinamometro per il rapporto tra la corsa di estrazione dal caricatore e l'intera corsa dell'otturatore.

Indicando, quindi, con:

- $R_{\max}$ lo sforzo iniziale della molla all'inizio del moto di ritorno;
- β la costante della molla;
- G il peso della massa rinculante;
- M la massa rinculante;
- f il coefficiente di attrito;
- x lo spazio generico di ritorno;
- H l'intera corsa di ritorno;
- T_m lo sforzo in Kg. per l'estrazione della cartuccia dal caricatore, valutato come indicato in precedenza;

si ha:

$$[1] \quad M \frac{d^2 x}{dt^2} = R_{\max} - \beta x - fG - T_m$$

e posto:

$$R_{\max} - fG - T_m = L; \quad \frac{\beta}{M} = K^2 \text{ e } \frac{L}{M} S_0$$

si ottiene:

$$[2] \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + K^2 x = S_0$$

equazione differenziale del 2° ordine a coefficienti costanti e non omogenea.

L'integrale generale della [2] resa omogenea e cioè dell'equazione differenziale:

$$[3] \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + K^2 x = 0 \quad \text{è notoriamente}$$

$$[4] \quad x = C_1 \sin(\omega t + C_2)$$

equazione del moto armonico.

Un integrale particolare della [2] è

$$[5] \quad x = \frac{S_0}{K^2}$$

come è facile verificare sostituendo tale valore nella [2].

L'integrale generale della [2] è la somma dell'integrale particolare [5] e di quello generale della [2] resa omogenea. Cioè:

$$[6] \quad x = C_1 \sin(Kt + C_2) + \frac{S_0}{K^2}$$

Per $t = 0$ deve essere $x = 0$ quindi:

$$[7] \quad C_1 \sin C_2 = - \frac{S_0}{K^2}$$

da cui

$$[8] \quad C_1 = - \frac{S_0}{K^2 \sin C_2}$$

Derivando la [6] si ha:

$$[9] \quad w = \frac{dx}{dt} = C_1 K \cos(Kt + C_2)$$

Per $t = 0$ deve essere $w = 0$ (inizio del moto di ritorno): quindi C_2 deve essere uguale a $\frac{\pi}{2}$ e $C_1 = - \frac{S_0}{K^2}$ e cioè

$$[10] \quad x = \frac{S_0}{K^2} (1 - \cos Kt)$$

$$[11] \quad w = \frac{dx}{dt} = \frac{S_0}{K} \operatorname{sen} K t$$

$$[12] \quad \frac{d^2 x}{dt^2} = S_0 \cos K t$$

Dalla [10], ponendo $x = H$ (lunghezza totale del percorso) e $t = T$, si ricava la durata del ritorno:

$$[13] \quad T = \frac{1}{K} \arccos \left(1 - \frac{K^2 H}{S_0} \right)$$

ed anche

$$[13 \text{ bis}] \quad T = \sqrt{\frac{G}{\beta g}} \arccos \left(1 - \frac{\beta H}{R_{\max} - fG - T_m} \right)$$

L'energia assorbita per il ritorno in chiusura è ovviamente:

$$[14] \quad \frac{1}{2} M w^2 = \frac{S_0^2}{2MK^2} \operatorname{sen}^2 K T$$

L'urto finale della massa rinculante contro la culatta dell'arma è in Kg.:

$$[15] \quad M \left(\frac{dx}{dt} \right)_t = T = M S_0 \cos K T$$

e, indicando l'urto con U , si ha:

$$[15 \text{ bis}] \quad U = (L - \beta H)$$

Occorrono notevoli lunghezze di rinculo, grandi costanti delle molle.

Ove ciò non sia possibile realizzare (moschetto automatico con chiusura a massa) si può influire sulla durata di rinculo, variando la sporgenza del percussore fisso, come è indicato in una nota annessa.

RINCULO.

Lo suddivideremo in tre periodi:

1° periodo: relativo al tempo che impiega il proietto a raggiungere la bocca dell'arma;

2° periodo: dalla fine del 1° periodo alla completa caduta di pressione alla bocca;

3° periodo: moto della massa rinculante, cessata l'azione dei gas della carica di lancio.

1° periodo. — E' di brevissima durata (come ordine di grandezza si può ritenere il millesimo di secondo). Impiegando le formule semplici di Heydenreich o, più semplicemente, introducendo nella equazione del moto la pressione media, è possibile ricavare la legge del moto.

L'equazione del moto è:

$$[16] \quad MVdV = \Omega P(x)dx - (R_0 + \beta x + fG)dx$$

essendo R_0 lo sforzo iniziale della molla.

Ponendo al posto di $P(x)$ la pressione media $P_m = \frac{m v^2}{2 \Omega x}$ dove $\frac{m}{2} v^2$ è l'energia della bocca, Ω la sezione retta della pallottola e x il percorso totale del proietto, l'equazione differenziale diventa:

$$MVdV = \Omega P_m dx - (R_0 + \beta x + fG)dx$$

che integrata dà:

$$\frac{M}{2} v^2 = \Omega P_m x - (R_0 + \frac{\beta}{2} x + fG)x$$

da cui, indicando con V_0 la velocità massima di rinculo e H_1 il percorso dell'otturatore, si ha:

$$[17] \quad V_0 = \sqrt{\frac{2}{M} \left[\Omega P_m H_1 - (R_0 + \frac{\beta}{2} H_1 + fG) H_1 \right]}$$

Il valore di H_1 è molto importante nelle armi a canna fissa, perchè permette di verificare il profilo interno del bossolo. Infatti il bossolo, quando l'otturatore è rinculato della quantità H_1 , è in parte senza l'appoggio delle pareti della camera a bossolo.

Volendo ricavare, in modo grossolano, il tempo, tenendo conto che H_1 è molto piccolo, si può scrivere:

$$[18] \quad T = \frac{2H_1}{V_0}$$

e quindi:

$$[19] \quad T = \frac{2 H_1}{\sqrt{\frac{2}{M} \left[\Omega P_m H_1 - (R_0 + \frac{\beta}{2} H_1 + fG) H_1 \right]}}$$

Il calcolo è stato fatto per dimostrare che è possibile ricavare il tempo e lo spazio per questa via.

In effetti, trascurando la resistenza della molla nel primo periodo, si può ricavare la velocità di rinculo, lo spazio ed il tempo con le formule semplici

$$V_0 = \frac{p}{G} v$$

$$S = \frac{p}{G} x$$

$$T_0 = \frac{2x}{v_0}$$

Da queste formule appare, ad esempio, che un'arma a canna fissa, con un otturatore del peso di 1 kg., non può avere una velocità iniziale superiore ai 400 m/s considerando una pallottola del peso di 10 gr.; ed un rinculo nel 1° periodo non superiore ai 2 millimetri ammesso un percorso del proietto di m. 0,200.

Nelle armi a canna fissa e percussore fisso ha grande importanza la sporgenza del percussore, come si è già accennato, perchè influisce sensibilmente sul ritmo. (Vedi nota n. 2).

2° periodo. — All'uscita del proietto dalla bocca la pressione di bocca è P_b . Tale pressione decresce rapidamente col tempo (vedi nota n. 3) secondo la formula:

$$[20] \quad P = P_b e^{-Kt}$$

dove K è una costante.

L'equazione differenziale del moto è:

$$[21] \quad M \frac{d^2 x}{dt^2} = \Omega P_b e^{-Kt} - (R_e' + \beta x) - fG$$

poniamo:

$$-\frac{R_e' + fG}{dt^2} = -S_0; \quad \frac{\beta}{M} = \alpha^2; \quad \frac{\Omega P_b}{M} = a$$

si ha:

$$[22] \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha^2 x = a e^{-Kt} - S_0$$

L'integrale generale della [22] resa omogenea e cioè:

$$[22 \text{ bis}] \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \alpha^2 x = 0 \quad \text{è}$$

$$[23] \quad x = C_1 \cos \alpha t + C_2 \sin \alpha t$$

La [23] sarà anche la soluzione generale della [22] se (variazione delle costanti)

$$[24] \quad \begin{cases} \cos \alpha t \frac{dC_1}{dt} + \sin \alpha t \frac{dC_2}{dt} = 0 \\ \frac{d \cos \alpha t}{dt} \cdot \frac{dC_1}{dt} + \frac{d \sin \alpha t}{dt} \cdot \frac{dC_2}{dt} = a e^{-Kt} - S_0 \end{cases}$$

da cui si ha:

$$\frac{dC_1}{dt} = \frac{S_0 \sin \alpha t - a \sin \alpha t e^{-Kt}}{\alpha}$$

$$\frac{dC_2}{dt} = \frac{a \cos \alpha t e^{-Kt} - S_0 \cos \alpha t}{\alpha}$$

da cui, separando le variabili e integrando:

$$C_1 = -\frac{S_0}{\alpha^2} \cos \alpha t - \frac{a}{\alpha} \int \sin \alpha t e^{-Kt} dt + c_1$$

$$C_2 = -\frac{a}{\alpha} \int \cos \alpha t e^{-Kt} dt - \frac{S_0}{\alpha^2} \sin \alpha t + c_2$$

ed ancora:

$$C_1 = -\frac{S_0}{\alpha^2} \cos \alpha t + \frac{a K \sin \alpha t + a \alpha \cos \alpha t}{\alpha (K^2 + \alpha^2)} e^{-Kt} + c_1$$

$$C_2 = -\frac{S_0}{\alpha^2} \sin \alpha t + \frac{a \alpha \sin \alpha t - a K \cos \alpha t}{\alpha (K^2 + \alpha^2)} e^{-Kt} + c_2$$

Sostituendo nella [23] si ha:

$$[25] \quad x = \left[\frac{a K \sin \alpha t + a \alpha \cos \alpha t}{\alpha (K^2 + \alpha^2)} e^{-Kt} + c_1 - \frac{S_0}{\alpha^2} \cos \alpha t \right] \cos \alpha t + \\ + \left[\frac{a \alpha \sin \alpha t - a K \cos \alpha t}{\alpha (K^2 + \alpha^2)} e^{-Kt} + c_2 - \frac{S_0}{\alpha^2} \sin \alpha t \right] \sin \alpha t$$

Per $x = 0$, t deve essere 0, quindi

$$\frac{a \alpha}{\alpha (K^2 + \alpha^2)} + c_1 - \frac{S_0}{\alpha^2} = 0 \quad \text{da cui:}$$

$$c_1 = \frac{S_0}{\alpha^2} - \frac{a}{K^2 + \alpha^2}$$

Riducendo

$$[25 \text{ bis}] \quad x = \frac{a e^{-Kt}}{K^2 + \alpha^2} + \frac{S_0}{\alpha^2} \cos \alpha t - \frac{S_0}{\alpha^2} - \frac{a \cos \alpha t}{K^2 + \alpha^2} + c_2 \sin \alpha t$$

Derivando rispetto a t si ha:

$$[26] \quad \frac{dx}{dt} = -\frac{a K e^{-Kt}}{K^2 + \alpha^2} - \frac{S_0}{\alpha} \sin \alpha t + \frac{a \alpha \sin \alpha t}{K^2 + \alpha^2} + c_2 \alpha \cos \alpha t$$

Per $t = 0$,

$$\left(\frac{dx}{dt} \right)_{t=0} = V_0 = -\frac{a K}{K^2 + \alpha^2} + c_2 \alpha ; \text{ da cui}$$

$$C_2 = \frac{V_0}{\alpha} + \frac{a K}{\alpha (K^2 + \alpha^2)} \text{ quindi}$$

$$[27] \quad x = \frac{a e^{-Kt}}{K^2 + \alpha^2} + \frac{S_0}{\alpha^2} \cos \alpha t - \frac{S_0}{\alpha^2} - \frac{a \cos \alpha t}{K^2 + \alpha^2} + \frac{V_0}{\alpha} \sin \alpha t + \frac{a K \sin \alpha t}{\alpha (K^2 + \alpha^2)}$$

l'intero percorso, nel secondo periodo si avrà ponendo $x = H_2$ e $t = T$
 T si ricava come indicato nella nota n. 3.

Mentre per la velocità si ha:

$$[28] \quad \frac{dx}{dt} = -\frac{aK e^{-Kt}}{K^2 + \alpha^2} - \frac{S_0}{\alpha} \sin \alpha t + \frac{a\alpha \sin \alpha t}{K^2 + \alpha^2} + V_0 \cos \alpha t + \frac{aK \cos \alpha t}{K^2 + \alpha^2}$$

Anche per la velocità massima di rinculo basta sostituire T a t .

3° periodo. — Analogamente a quanto indicato per il moto di ritorno considereremo lo sforzo della molla, che in questo caso è una forza resistente, e gli attriti nei quali comprenderemo l'estrazione del bossolo sparato.

L'equazione differenziale del moto è:

$$[29] \quad M \frac{d^2 x}{dt^2} = -(R_0'' + \beta x) - fG$$

$$[30] \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\beta}{M} x = -\frac{R_0'' + fG}{M}$$

$$[31] \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + K^2 x = -S_0$$

Si ha:

$$x = C_1 \cos(Kt) + C_2 \sin(Kt)$$

essendo:

$$C_1 = -\frac{S_0}{K^2} \cos(Kt) + b_1$$

$$C_2 = -\frac{S_0}{K^2} \sin(Kt) + b_2$$

quindi sostituendo e riducendo:

$$[32] \quad x = b_1 \cos(Kt) + b_2 \sin(Kt) - \frac{S_0}{K^2}$$

per $x = \text{zero}$, $t = \text{zero}$, per cui $b_1 = \frac{S_0}{K^2}$

quindi

$$x = \frac{S_0}{K^2} \cos(Kt) - \frac{S_0}{K^2} + b_2 \sin(Kt)$$

$$w = \frac{dx}{dt} = -\frac{S_0}{K^2} \sin(Kt) + Kb_2 \cos(Kt)$$

per $x = 0$, $w = \bar{V}_0$ (velocità massima di rinculo)

quindi: $Kb_2 = \bar{V}_0$, da cui $b_2 = \frac{\bar{V}_0}{K}$

Si ha quindi:

$$[33] \quad x = \frac{S_0}{K^2} \cos(Kt) - \frac{S_0}{K^2} + \frac{\bar{V}_0}{K} \sin(Kt)$$

$$[34] \quad w = \frac{dx}{dt} = \bar{V}_0 \cos(Kt) - \frac{S_0}{K} \sin(Kt)$$

Il valore della velocità massima di rinculo V_0 si ha dal precedente calcolo nel secondo periodo.

Per calcolare la durata del rinculo T_a osservo che alla fine della corsa di rinculo $w = \text{zero}$ e perciò si ha:

$$\bar{V}_0 \cos(Kt) = \frac{S_0}{K} \sin(Kt)$$

$$\text{da cui} \quad \text{tang } KT = \frac{V_0 K}{S}$$

$$[35] \quad T_a = \frac{1}{K} \text{ arc tang } \frac{\bar{V}_0 K}{S_0} \text{ ed anche:}$$

$$[36] \quad T_a = \sqrt{\frac{G}{\beta g}} \text{ arc tang } \left(\frac{\bar{V}_0}{R_0'' + fG} \sqrt{\frac{\beta G}{g}} \right)$$

Se le caratteristiche della molla e la lunghezza di rinculo concessa alla massa rinculante non sono sufficienti la [35] e la [36] non sono valide. Si ha un urto finale della massa rinculante. Il valore di tale urto è facilmente calcolabile: basta calcolare per punti la [33] e trovare il valore di t che corrisponde alla massima lunghezza di rinculo concessa all'arma. Introdurre tale valore nella [34] ed ottenere la velocità di urto e quindi l'energia dell'urto stesso.

Per la regolarità di un'arma automatica il collaudo delle cassule dovrebbe essere molto più severo. Ad esempio potrebbe essere stabilita una prova delle cassule al pendolo, onde accertarne la omogeneità dell'energia prodotta dall'esplosione. Altro argomento di non minore importanza è l'inflamrazione simultanea dei grani della carica di lancio: funzione diretta dal sistema di innescamento.

Le formule che precedono danno un sicuro criterio per la progettazione di un'arma automatica, limitando le esperienze al minimo e ponendo in evidenza le grandezze che influiscono sul moto della massa rinculante.

Variare la celerità di tiro in un'arma già costruita non è una cosa facile.

Gli attriti giuocano un ruolo trascurabile, e ad ogni modo non conviene siano esagerati. Il congegno di ricupero va studiato in sede di progetto con le formule profferte.

Ad ogni modo, anche se non facile, è possibile variare il ritmo anche in un'arma già costruita.

In genere tutte le armi automatiche oggi esistenti hanno ancora una celerità esagerata: 400 colpi al minuto, ad esempio, in un moschetto mitragliatore, sono più che sufficienti, mentre attualmente tali armi hanno celerità di 500 ÷ 600 colpi, celerità inutile ed eccessiva, che logora le canne e spreca inutilmente munizioni.

Per sottoporre alla prova dell'esperienza le formule della durata, si è

provveduto ad aumentare di Kg. 0,300 un otturatore del peso originario di Kg. 0,762 in un moschetto che aveva effettuato una raffica di 40 colpi in 4" e cioè 600 colpi al minuto primo. Il calcolo della durata totale considerando un peso di Kg. 1,062 della massa rinculante (rinculo più ritorno) dà: $T = 0'',127$. L'esperienza effettuata con un cronometro al centesimo di secondo ha fornito:

$$T = 0'',125$$

ALTRE FORMULE.

Può essere interessante osservare quale forma assumono le formule del moto, ricavandole dalla equazione differenziale della forza viva. Naturalmente i valori assoluti sono identici ma è importante effettuare anche questo calcolo per cui l'argomento può considerarsi così completamente esaminato.

MOTO DI RINCULO.

Impiegando i simboli già noti e considerando il moto della massa rinculante quando essa ha acquistato la velocità V_0 di rinculo, quando cioè è cessata la pressione dei gas sulla testa dell'otturatore, si ha:

$$[37] \quad MVdV = -(R_0'' + \beta x) dx - fGdx$$

ed integrando:

$$\frac{M}{2}(V^2 - \overline{V_0^2}) = -R_0'' x - \frac{\beta}{2} x^2 - fGx$$

da cui:

$$V^2 = \overline{V_0^2} - \frac{2}{M} (R_0'' + fG)x - \frac{\beta}{M} x^2$$

e posto per brevità:

$$\frac{2}{M} (R_0'' + fG) = b ; \quad \frac{\beta}{M} = a ; \quad \overline{V_0^2} = c$$

si ha:

$$V^2 = -ax^2 - bx + c$$

ed anche:

$$[38] \quad V = \sqrt{-ax^2 - bx + c}$$

Al termine del rinculo $V = 0$ ed $x = H$ per cui:

$$aH^2 + bH - \overline{V_0^2} = 0$$

$$H = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4aV_0^2}}{2a}$$

e sostituendo ad a e b i loro valori, e riducendo:

$$[39] \quad H = \frac{-(R_0 + fG) + \sqrt{(R_0'' + fG)^2 + \beta \frac{G}{g} V_0^2}}{\beta}$$

dalla quale si ricava la lunghezza di rinculo.

Dalla [38] si ha:

$$V = \frac{dx}{dt} \sqrt{-ax^2 - bx + c}$$

ed integrando tra zero ed H :

$$T = \int_0^H \frac{dx}{\sqrt{-ax^2 - bx + c}}$$

Il discriminante della funzione quadratica sotto radice è maggiore di zero, quindi i valori dell'integrale sono nel campo reale.

Potremo porre:

$$-ax^2 - bx + c = -a \left[\left(x + \frac{b}{2a} \right)^2 - \frac{b^2 + 4ac}{4a^2} \right]$$

e posto $\frac{b^2 + 4ac}{4a^2} = K^2$ si ha:

$$-ax^2 - bx + c = a \left[K^2 - \left(x + \frac{b}{2a} \right)^2 \right] \text{ da cui:}$$

$$\sqrt{-ax^2 - bx + c} = \sqrt{a} \sqrt{K^2 - \left(x + \frac{b}{2a} \right)^2}$$

Poniamo inoltre $x + \frac{b}{2a} = z$ da cui $dx = dz$. Si ha:

$$T = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\frac{b}{2a}}^{H + \frac{b}{2a}} \frac{dz}{\sqrt{K^2 - Z^2}} = \frac{1}{\sqrt{a}} \left[\arcsen \frac{Z}{K} \right]_{\frac{b}{2a}}^{H + \frac{b}{2a}} = \frac{1}{\sqrt{a}} \arcsen \frac{2ax + b}{\sqrt{b^2 + 4ac}}$$

Da cui:

$$[40] \quad T_a = \frac{1}{\sqrt{a}} \left[\arcsen \frac{2aH + b}{\sqrt{b^2 + 4ac}} - \arcsen \frac{b}{\sqrt{b^2 + 4ac}} \right]$$

e sostituendo e riducendo:

$$[40 \text{ bis}] \quad T_n = \sqrt{\frac{G}{\beta g}} \left[\arcsin \frac{\beta H + R_o'' + fG}{\sqrt{(R_o + fG)^2 + \frac{\beta G}{g} V_o^2}} - \arcsin \frac{R_o'' + fG}{\sqrt{(R_o + fG)^2 + \frac{\beta G}{g} V_o^2}} \right]$$

Se l'energia di rinculo è totalmente assorbita dal lavoro della molla recuperatrice e da quello dell'attrito, tenendo conto della [39] la [40 bis] può essere ridotta:

$$[40 \text{ ter}] \quad T = \sqrt{\frac{G}{\beta g}} \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{R_o'' + fG}{R_o'' + fG + \beta H} \right]$$

che, ricordando la formula

$$\frac{\pi}{2} - \arcsin u = \arctan \frac{\sqrt{1-u^2}}{u}$$

è identica alla [36].

MOTO DI RITORNO.

Si ha:

$$[41] \quad MVdV = (R_{\max} - \beta x - fG - T_m) dx$$

dove i simboli hanno lo stesso significato indicato a pag. 58.

Integrando, si ha:

$$[42] \quad \frac{M}{2} V^2 = (R_{\max} - fG - T_m) x - \frac{\beta}{2} x^2$$

Da cui si ha la velocità finale di ritorno, per $x = H$.

$$[43] \quad V_o^1 = \sqrt{\frac{2}{M} (R_{\max} - fG - T_m) H - \frac{\beta}{M} H^2}$$

Per le armi a percussore fisso (non comandato) il valore della V_o^1 è molto importante per la valutazione dell'energia di percussione sulla cassula. Per le armi a percussore comandato il calcolo di tale energia può essere facilmente effettuato, tenendo conto, per i vari sistemi di percussione, dell'energia fornita dalla massa battente e dalle molle.

La [42] si può scrivere:

$$V = \frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{2}{M} (R_{\max} - fG - T_m) x + \frac{\beta}{M} x^2}$$

e posto per brevità:

$$-\frac{\beta}{M} = a' ; \quad \frac{2}{M} (R_{\max} - fG - T_m) = b'$$

$$[44] \quad dt = \frac{dx}{\sqrt{b'x - a'x^2}}$$

la funzione: $b'x - a'x^2$ si può scrivere:

$$-a'x^2 + b'x = -a' \left[\left(x - \frac{b'}{2a'} \right)^2 - \frac{b'^2}{4a'^2} \right]$$

e, ponendo $K^2 = \frac{b'^2}{4a'^2}$

$$-a'x^2 + b'x = -a' \left[\left(x - \frac{b'}{2a'} \right)^2 - K^2 \right] = a' \left[K^2 - \left(x - \frac{b'}{2a'} \right)^2 \right]$$

Poniamo inoltre: $x - \frac{b'}{2a'} = Z$; da cui $dZ = dx$.

Integrando la [44] si ha:

$$T_1 = \frac{1}{\sqrt{a'}} \int_{-\frac{b'}{2a'}}^{\frac{H - \frac{b'}{2a'}}{2a'}} \frac{dz}{\sqrt{K^2 - Z^2}} = \frac{1}{\sqrt{a'}} \left| O \right. \text{arc sen} \frac{2a'x - b'}{b'} = \frac{1}{\sqrt{a'}} \left[\text{arc sen} \frac{2a'H - b'}{b'} + \frac{\pi}{2} \right]$$

e, sostituendo e riducendo:

$$[45] \quad T_1 = \sqrt{\frac{G}{\beta g}} \left[\text{arc sen} \frac{\beta H - (R_{\max} - fG - T_m)}{R_{\max} - fG - T_m} + \frac{\pi}{2} \right]$$

La [45] è identica alla [13 bis] come si può verificare con facili trasformazioni trigonometriche.

NOTE

I. - MOLLA DI RICUPERO.

Va calcolata in relazione all'energia di rinculo da assorbire. Il calcolo è assai semplice. La lunghezza del rinculo può essere stabilita con criteri pratici, per avere minimo ingombro. La pendenza del diagramma della molla (β) può essere variata entro limiti abbastanza estesi.

Per una molla a sezione circolare

$$\beta = \frac{Et}{64} - \frac{d^4}{r^3 n}$$

essendo d il diametro del filo, r il raggio della molla, n il numero delle spire, Et il modulo di elasticità trasversale del metallo.

Il valore di Et è fortemente influenzato dal trattamento termico della molla; trattamento termico, purtroppo, molto trascurato dai fabbricanti di armi. Le variazioni di Et si ripercuotono dannosamente sul valore di β .

Ora se si considera che

$$\beta = \frac{P_m}{f_m}$$

e cioè β è dato dal rapporto tra carico e freccia, si vede subito la necessità che il coefficiente di flessibilità sia costante. Le tolleranze necessarie nella lavorazione di serie debbono essere stabilite col criterio che le variazioni di β (minime) non debbono provocare sensibili variazioni nella lunghezza di rinculo.

Stabilita la corsa dell'otturatore per un angolo di tiro nullo, è necessario poter permettere un piccolo margine in più quando l'angolo di tiro è maggiore di zero. Evidentemente non è possibile impedire l'urto finale per qualunque angolo di tiro (ad esempio per $\varphi = 90^\circ$). In tal caso è necessario un ammortizzatore che, a seconda dei vari tipi di armi automatiche, può essere o un vero e proprio ammortizzatore a molla o liquido, oppure per le armi più semplici, e per urti moderati, un semplice tacco di cuoio o di gomma.

II. - INFLUENZA DELLA LUNGHEZZA DEL PERCUSSORE NELLE ARMI A PERCUSSORE FISSO.

La celerità di tiro (ritmo) di un moschetto mitragliatore a percussore fisso è fortemente influenzata dalla misura della sporgenza del percussore. In particolare a piccole sporgenze del percussore corrispondono grandi celerità di tiro; per contro, aumentando la lunghezza del percussore si hanno celerità di tiro più moderate. Recenti prove con una stessa arma hanno dato le seguenti celerità di tiro:

- sporgenza del percussore m/m 0,8 - n. 600 colpi al minuto;
- sporgenza del percussore m/m 1,1 - n. 558 colpi al minuto;
- sporgenza del percussore m/m 1,2 - n. 510 colpi al minuto.

La spiegazione del fenomeno è semplice: nel ritorno in chiusura l'otturatore è animato da una velocità finale di poco inferiore alla velocità massima di rinculo V_0 . La differenza è dovuta allo sforzo per estrarre la nuova cartuccia dal caricatore.

Se il percussore colpisce la cassula poco prima di aver effettuato la completa chiusura (urto contro il vivo di culatta), nel breve tratto di tre o quattro decimi di millimetro, l'otturatore ha una velocità che è data dalla differenza tra quella di ritorno e quella di rinculo dovuta allo sviluppo rapido, ma progressivo, della combustione dei grani della carica di lancio.

In conclusione l'otturatore ammortizza, sia pure rapidamente, la sua velocità di ritorno e, se la sporgenza del percussore è ben regolata, può iniziare il moto di rinculo senza che l'otturatore urti con violenza contro il vivo di culatta.

Stabilito l'andamento del fenomeno, è facile sottoporlo a calcolo, ma è ancora più semplice determinare la sporgenza del percussore direttamente con poche esperienze di tiro.

I limiti sono ovviamente determinati dalle seguenti esigenze:

a) sporgenza massima: tale da non provocare la perforazione della cassula;

b) sporgenza minima: tale da non dare celerità di tiro eccessive.

III. - DELLA CADUTA DELLA PRESSIONE DI BOCCA DOPO L'USCITA DEL PROIETTO.

Il Rateau per un cannone da 75 francese in istudio dà i seguenti valori della pressione di bocca. (Vedi articolo dell'ing. E. Ravelli: *Pressioni di bocca in atmosfere*, « Rivista di Art. e Genio », nov. e dic. 1928). Il calcolo di Rateau, come quello del Ravelli contenuto nel fascicolo già citato della « Rivista di Artiglieria e Genio », si basa sulla termodinamica.

400 286 178,5 87 24 8,09 2,99

dopo millesimi di secondo:

0 2 5 10 20 30 40

Notiamo che dividendo la differenza dei logaritmi neperiani tra la pressione di bocca e le seguenti pressioni, per il tempo, si ha un numero sensibilmente costante e cioè, nel caso in esame, pari a 157,9 e cioè, detto K tale valore:

$$\frac{2,3 (\log_{10} P_b - \log_{10} P)}{t} = K \quad \text{da cui}$$

$$2,3 \log_{10} P = 2,3 \log_{10} P_b - Kt$$

Ora calcolando con tale formula le pressioni in corrispondenza dei tempi sopra segnati si ha:

400 286 177,9 82 17 3,5 1

Ad eccezione dei valori più bassi delle pressioni, si nota una sensibile coincidenza tra le due serie di valori delle pressioni.

In ogni caso l'effetto delle piccole pressioni è certamente molto piccolo.

Si sono osservati alcuni diagrammi ottenuti dalla Ditta Breda di Brescia mediante piezometri al quarzo situati alla bocca di varie armi e di un oscillografo a raggi catodici.

Le curve P in funzione del tempo, dopo l'uscita del proietto, sono tutte rapidamente decrescenti e volgono la concavità in alto.

Notiamo che la funzione $P(t)$ extrabocca deve dare per $t = 0$ il valore P_b e per l'espansione totale dei gas della bocca $P = 1$ (trascurando il mescola-

mento dell'aria, la turbolenza, ecc.) possiamo anche dedurre dai diagrammi sperimentali che la prima derivata di tale funzione deve essere negativa, mentre la seconda derivata deve essere positiva.

Le condizioni suesposte non sono sufficienti a definire, con rigore matematico, la funzione $P(t)$, ma, se osserviamo che il logaritmo neperiano della pressione è proporzionale al tempo, tale funzione è del tipo

$$[1] \quad P = P_0 e^{-Kt}$$

ed anche $P = P_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right)$ che è identica alla [1].

Sviluppata in serie

$$P = P_0 \left(1 - Kt + K^2 \frac{t^2}{2} - \dots\right)$$

si ha appunto la prima derivata negativa e la seconda positiva.

Scritta la [1] in termini differenziali essa risulta:

$$[2] \quad dP = -PK dt$$

che è l'analogo alla nota legge fisica dell'assorbimento dell'energia.

La [1] è certamente più approssimata di quella dovuta alla ipotesi del Vallier (caduta lineare della pressione) se non altro perchè la proporzionalità è applicata ai differenziali e non alle quantità finite.

Com'è noto, l'ipotesi del Vallier fornisce la formula:

$$P = P_0 \left(1 - \frac{t}{T}\right)$$

L'andamento delle curve della pressione in funzione del tempo dopo l'uscita del proietto, esaminate in vari diagrammi con armi diverse, hanno tutte l'andamento già indicato.

La questione può essere oggetto di numerose altre ricerche che ci proponiamo di effettuare in un altro studio, se si potrà disporre di sufficienti dati sperimentali.

Occorre anche notare che secondo studi effettuati in Francia (Jacob: *Artillerie Navale*, vol. II, pag. 135) la velocità media del gas effluente è

$$v_m = 0v_0 = 1400 \div 1800 \text{ m/s per polveri colloidali;}$$

$$v_m = 0v_0 = 800 \div 1000 \text{ m/s per polveri nere;}$$

e quindi tale velocità dipende dalla velocità del proietto molto meno di quanto le formule di balistica interna lasciano supporre.

Ad ogni modo, noto il diagramma (Pt) ottenuto con i piezometri al quarzo e l'oscillografo, è facile con una integrazione grafica ottenere la curva ($v \cdot t$) e quindi la velocità alla bocca; così pure noto il diagramma extrabocca, è noto l'impulso e quindi l'incremento della quantità di moto di rinculo, da cui è facile rilevare la velocità massima di rinculo.

In mancanza di dati sperimentali esatti, si può, a volte con sufficiente approssimazione procedere come segue:

dalla $P = P_b e^{-Kt}$, per $t = T$, si deve avere $P = 1$
quindi:

$$K = \frac{\log_e P_b}{T}, \quad e^{-Kt} = \frac{1}{P_b}$$

Integrando si ha:

$$I = P_b \Omega \int_0^T e^{-Kt} dt = M (\bar{V}_0 - V_0) = \frac{\Omega P_b}{K} (1 - e^{-Kt})$$

ed ancora

$$M(\bar{V}_0 - V_0) = \frac{\Omega (P_b - 1) T}{\log_e P_b}$$

Ora

$$M\bar{V}_0 = \frac{p}{G} \left(1 + \frac{\omega}{p} \right) v_0$$

mentre

$$MV_0 = \frac{p}{G} \left(1 + \frac{\omega}{2p} \right) v_0$$

quindi

$$M(\bar{V}_0 - V_0) = \left(\frac{\omega}{2} - \frac{1}{2} \right) \frac{\omega v_0}{g}$$

da cui

$$T = \frac{\left(\frac{\omega}{2} - \frac{1}{2} \right) \omega v_0 \log_e P_b}{\Omega (P_b - 1) g}$$

DELLA CANNA

Magg. di fant. Alessandro Graziani

PREMESSA.

La progettazione di un'arma da fuoco presuppone l'impostazione di un tema di ordine tattico da parte degli Stati Maggiori e la sua soluzione in termini adeguati, nel campo meccanico e balistico, da parte dei tecnici.

E' sulla base della dottrina tattica e dei relativi procedimenti d'impiego che, tenuto conto degli obiettivi da battere e dei reparti cui l'arma è destinata, ne vengono fissate le qualità tattiche di potenza, mobilità, maneggevolezza, celerità di tiro, robustezza e rusticità.

In relazione ai suddetti requisiti il tecnico deve prendere in considerazione numerosi elementi che possiamo distinguere in essenziali ed accessori:

a) quelli essenziali riguardano:

— il proietto (calibro, forma, natura, massa, velocità iniziale, stabilità sulla traiettoria);

— la carica di lancio (sostanza, peso, granitura);

— la canna (metallo costitutivo, forma, profilo, lunghezza, rigatura, peso);

b) quelli accessori riguardano tutti quei dispositivi e congegni che servono:

— ad assicurare la chiusura posteriore della canna durante lo sparo;

— a sostenere la canna e a consentirne il puntamento;

— a permettere il caricamento;

— a provocare lo sparo;

— a rendere pratico, sicuro, efficace e rapido l'impiego.

L'esame dettagliato e complessivo di tutti gli elementi accennati ci porterebbe assai oltre il compito affidatoci e ci limitiamo pertanto ad esaminarne semplicemente uno: la canna.

La scelta dell'argomento è da ascrivere al desiderio di mettere in evidenza un elemento di solito negletto e alla speranza di poter richiamare alla mente questioni già note facendone emergere la complessità ai fini delle progettazioni demandate agli organi tecnici, la cui fatica è spesso sconosciuta.

GENERALITÀ (1).

Lo scopo da raggiungere con la canna è quello di potervi alloggiare il proiettile in modo che sia consentita l'utilizzazione, ai fini balistici, della energia prodotta dall'espansione dei gas, sviluppati dalla deflagrazione della carica di lancio, per imprimere al proietto stesso un veloce movimento di traslazione in avanti e (ove occorra) di rotazione intorno al proprio asse, al fine di lanciarlo alla distanza e nella direzione voluta.

Ciò premesso, i problemi da risolvere riguardano il metallo costitutivo, la forma, il profilo, la lunghezza, la rigatura (ove questa occorra) ed il peso.

METALLO COSTITUTIVO.

L'energia motrice, rappresentata dalla forza espansiva dei gas, si manifesta rapidamente e determina alte pressioni che, esercitandosi dinamicamente (per urti) in tutti i sensi, danno luogo a sensibili tormenti tendenti a deformare e a rompere la canna. A questi tormenti il metallo costitutivo deve opporsi mercè la coesione delle sue molecole e le tensioni (o forze elastiche) che fra le molecole stesse si determinano sotto l'azione delle pressioni in questione. Ne consegue che, quanto maggiore è il *carico al limite elastico* (2), tanto maggiori sono le pressioni interne cui la canna può essere assoggettata.

Un criterio di opportuna prudenza suggerisce inoltre che, per ovviare all'eventualità del verificarsi di pressioni anormali, il metallo costitutivo delle canne presenti un sensibile *divario tra il carico al limite elastico e quello di rottura*. Questa caratteristica, che si classifica come grado di *tenacità* del metallo, consente, quando sia superato il carico al limite elastico, di vedere la deformazione prima che avvenga la rottura.

Altri requisiti cui il metallo costitutivo della canna deve rispondere, astrazion fatta da quello di carattere economico, sono:

- resistenza all'azione corrosiva ed alla elevata temperatura dei gas prodotti dalla deflagrazione della carica di lancio;
- durezza (3) tale da resistere all'azione di logoramento dovuto all'attrito del proietto nel suo movimento nell'anima;
- facilità di lavorazione e di conservazione.

Sulla base dei requisiti presi in esame, ne consegue che il metallo costitutivo più rispondente agli scopi è l'acciaio, in quanto oltre ad avere un elevato carico elastico, è tenace e meglio di tutti resiste alle elevate pressioni con il minor peso di canna.

La moderna metallurgia, nella costante ricerca di acciai idonei a resi-

(1) Nella trattazione ci si riferisce, per ovvie ragioni, ad armi specifiche della fanteria.

(2) Carico in kg. per mm² che un metallo può sopportare senza deformarsi permanentemente.

(3) Senza che ciò comporti fragilità delle pareti interne.

stere alle sempre maggiori pressioni, cui si va incontro con la necessità di realizzare sempre più elevate velocità iniziali, è riuscita a creare acciai speciali al ferro carbonio in lega con metalli pregiati (tungsteno, vanadio, volfranio, molibdeno, nichel, cromo) per cui il carico al limite elastico da 50 kg. per mm² dell'acciaio comune è stato addirittura raddoppiato con gli acciai al nichel-cromo.

FORMA ESTERNA E PROFILO.

La forma esterna della canna deve essere tale da consentire una facile lavorazione e la possibilità di collegarla agevolmente alle altre parti dell'arma; non deve inoltre essere ingombrante e deve consentire un buon equilibrio dell'arma.

In genere detta forma è leggermente tronco-conica ed, a volte, presenta verso la culatta gradini più o meno accentuati in relazione alla necessità di dover bilanciare le maggiori pressioni che ivi si esercitano.

Gli spessori ed il conseguente profilo esterno della canna risultano determinati dallo studio delle pressioni che si verificano nei vari punti dell'asse dell'anima.

E' pertanto necessario conoscere quello che avviene nella canna all'atto della deflagrazione della carica di lancio e durante il moto del proietto nell'anima.

All'atto in cui si verifica la deflagrazione della carica di lancio si forma del gas ad elevata temperatura la cui forza espansiva origina pressioni in tutti i sensi e quindi anche sul fondello del proiettile di cui vince l'inerzia e provoca la formazione delle parti conduttrici (pressione di forzamento). Il valore di tale pressione aumenta rapidamente e notevolmente sino a raggiungere un massimo (pressione massima) che corrisponde alla formazione di un volume d'anima dietro il fondello del proiettile tale da compensare lo sviluppo dei gas. Mentre il proiettile si sposta ulteriormente, la pressione decresce continuamente tendendo a raggiungere la pressione ordinaria.

In relazione al verificarsi di questo fenomeno, gli spessori dovrebbero perciò essere rigidamente commisurati alla *curva delle pressioni*.

Di solito è però sufficiente conoscere la pressione massima (π) misurata in fig. 1 dall'ordinata Rr ed il corrispondente percorso Or , la pressione Dd in corrispondenza dell'istante in cui termina la combustione e la pressione in altri 2 o 3 punti verso la volata.

Dal fondo dell'anima al punto di pressione massima, essendo le pareti soggette al massimo tormento, la canna dovrebbe avere spessore costante; successivamente, in relazione al decrescere delle pressioni, anche lo spessore della canna dovrebbe decrescere secondo un profilo curvilineo simile a quello della curva delle pressioni. Poichè però un siffatto profilo non terrebbe conto delle sovrappressioni che possono eventualmente verificarsi (ostruzione della

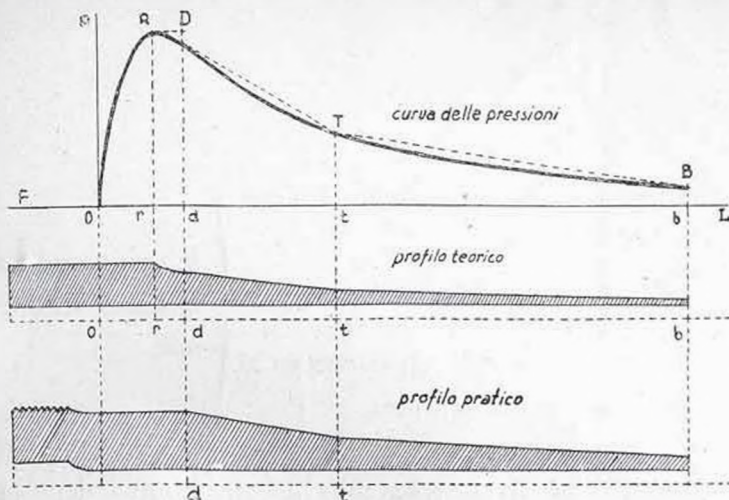


Fig. 1.

canna, variazione della densità di caricamento delle cariche di lancio) sino a superare anche il carico di rottura del metallo costitutivo, si sostituisce al *profilo teorico* un *profilo pratico*, che tiene conto di una maggiorazione pari ad $1/4$ del valore delle pressioni ed allo spostamento, verso la volata, di 2 calibri del punto di pressione massima. Alla forma curvilinea, in corrispondenza della zona di decrescenza delle pressioni, si sostituisce un profilo rettilineo corrispondente ad 1 o 2 rette rappresentanti le corde del tratto o dei tratti successivi della curva del profilo (v. fig. 1).

E' importante mettere in evidenza che l'aumento di spessore, a parità di metallo costitutivo e di valore della pressione dei gas, non aumenta in modo proporzionale la resistenza elastica di una canna, in quanto la pressione unitaria del gas esercita il suo massimo tormento sulle molecole dello strato superficiale dell'arma, ripercuotendosi sugli strati successivi ed a contatto, secondo un valore decrescente, conseguente:

— all'azione successiva del lavoro di deformazione elastica dei diversi strati;

— all'aumento di superficie cilindrica degli strati successivi man mano che procede dall'interno verso l'esterno.

In sostanza, l'aumento di peso (che per le armi portatili raggiunge ordini di vari kg., negativi ai fini della maneggevolezza e del trasporto) non è positivamente bilanciato dall'aumento di spessore oltre un determinato limite che, praticamente, è dato dalla formula:

$$K = \frac{r_e}{r_i} = \sqrt{\frac{4\vartheta + 3P_i}{4\vartheta - 5P_i}}$$

e cioè:

$$s = r_e - r_i = r_i \left[\sqrt{\frac{4\vartheta + 3P_i}{4\vartheta - 5P_i}} - 1 \right]$$

ove:

- | | |
|---|--|
| r_i = raggio interno della canna (uguale a metà del calibro) | } in corrispondenza di una qualsiasi sezione trasversale |
| r_e = raggio esterno della canna | |
| $s = r_e - r_i$ = spessore della canna | |
| $K = \frac{r_e}{r_i}$ = rapporto del raggio esterno al raggio interno della canna | |
| P_i = pressione unitaria interna, in corrispondenza della sezione trasversale considerata (ricavabile dal diagramma delle pressioni); | |
| ϑ = carico al limite elastico del metallo costitutivo; | |
| 4 = coefficiente di contrazione sperimentale per le armi portatili. | |

Gli spessori sono perciò ricavabili nei vari punti ed è possibile disegnare il profilo della canna.

Il nostro fucile 91 ha, ad esempio, spessore in culatta di calibri 1,23, in volata di 1 calibro. La pressione massima in servizio è di 3200 atm., mentre in collaudo sono contemplate pressioni di 4300 atm. e di 5200 atm. con le quali non devono verificarsi deformazioni permanenti superiori ad un decimo di mm.

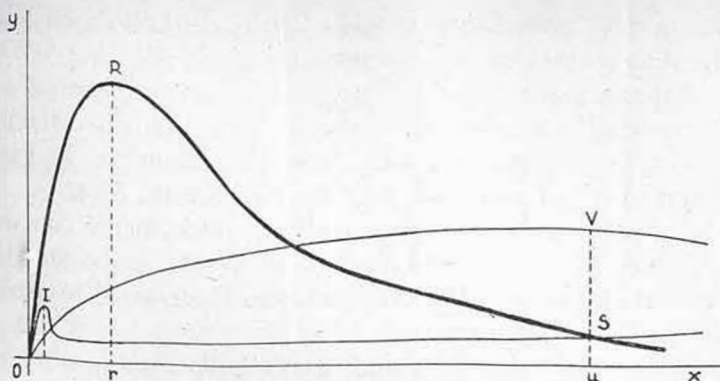
LUNGHEZZA DELLA CANNA.

Al fine di avere, a parità di ogni altra condizione, la massima velocità iniziale con una data arma, la lunghezza teorica di una canna dovrebbe essere limitata al punto in cui si equilibrano le pressioni e le resistenze che il proiettile incontra al suo movimento (v. fig. 2).

La rigida adozione di tale principio teorico porterebbe alla necessità di allestire canne lunghe e pesanti, di difficoltoso impiego tecnico e tattico.

A questo inconveniente si ovvia procedendo al taglio della canna nel punto in cui l'andamento delle curve fa rilevare che ulteriori sensibili aumenti di lunghezza non sono compensati da adeguati incrementi di velocità e comunque non bilanciano i conseguenti inconvenienti di peso e d'ingombro.

Una regola empirica, sufficientemente attendibile, sancisce che per lunghezze da 70 a 140 calibri, per ogni calibro in più nella lunghezza della canna (impiegando la medesima cartuccia) si ha un aumento da m. 0,75 a m. 0,80 della velocità iniziale.



UV = diagramma della velocità
 DIS = diagramma delle resistenze
 ORS = diagramma delle pressioni
 u = limite teorico della lunghezza dell'anima

Fig. 2.

In genere, la lunghezza varia da un'arma all'altra:

- fino a 16 cm. per le pistole;
- fino a 30 cm. per le pistole mitragliatrici;
- fino a 50 cm. per i moschetti semiautomatici ed automatici;
- fino a 65 cm. per i fucili mitragliatori, i fucili semiautomatici e per i più recenti modelli di fucili a ripetizione ordinaria;
- fino a 75 cm. per le mitragliatrici.

La lunghezza dell'anima, maggiore o minore, determinando corrispondenti variazioni assai sensibili nell'energia del proietto e nel peso dell'arma, influisce sensibilmente sui valori del rendimento della carica di lancio e dell'arma.

FORMA INTERNA.

Nell'interno della canna occorre distinguere una parte cilindrica (rigata o non) che è l'anima entro cui deve attuarsi il moto del proiettile ed una camera ove deve prendere alloggio il bossolo con il relativo proiettile (1).

(1) Non esiste una camera in quelle armi della fanteria che impiegano proiettili senza bossolo (es. mortaio da 81).

La camera deve avere forma eguale a quella del bossolo che deve contenere (1). Le dimensioni devono consentire un gioco tale che, nel senso longitudinale, impedisca alla capsula di non essere sufficientemente colpita dal percussore; in quello diametrale, consenta una limitata dilatazione del bossolo ad evitarne la rottura o quanto meno l'incollamento. In genere detto gioco è di mm. 0,1, con tolleranze non superiori a mm. 0,05.

Nelle armi più potenti, la camera termina anteriormente con un cono di raccordo all'anima che, nelle armi impieganti bossolo sprovvisto di orlo posteriore, serve ad assicurare la posizione del bossolo stesso, al momento in cui il percussore agisce sulla capsula (2).

Le dimensioni del bossolo e quindi quelle della camera oltre che essere adeguate alla potenza dell'arma, all'esplosivo impiegato ed alla sua granitura, dipendono dalla densità di caricamento.

La densità di caricamento (Δ) è infatti il rapporto tra il peso (p) della carica espresso in kg. ed il volume (v) della camera (dietro il proietto) espresso in litri:

$$\Delta = \frac{p}{v}$$

Essendo il volume iniziale dietro il proiettile quello corrispondente alla capacità del bossolo (occupato in parte dalla carica), le dimensioni del bossolo, e quindi della camera, dipendono dalla densità di caricamento.

Il tempo che i gas impiegano a raggiungere la pressione di forzamento, e perciò l'andamento della curva delle pressioni, dipende anche esso dalla densità di caricamento. Con l'aumentare sino ad un certo limite (0,65 ÷ 0,70) detta densità di caricamento, si ottiene infatti uno sfruttamento più completo della carica, a parità di peso e a parità di spazio percorso dal proiettile.

Una eccessiva densità di caricamento può far sì che la carica esploda anzichè deflagrare; per contro, una insufficiente densità di caricamento può determinare una limitata corsa del proiettile entro l'anima (3). In entrambi i casi la canna ne resterebbe danneggiata e non è da escludere che anche il tiratore possa esserlo.

RIGATURA.

Le armi che lanciano proietti aventi in sè l'elemento stabilizzatore che ne mantiene il centro di gravità avanti a quello di resistenza, non hanno bisogno di una rigatura (es. mortaio da 81).

(1) E' leggermente conica per facilitare l'estrazione del bossolo.

(2) I bossoli provvisti di orlo sporgente appoggiano con detto orlo in un incavo della parte posteriore della canna.

(3) Ne deriva che, quando all'esame oculare una cartuccia risulti manomessa o il proiettile risulti spostato rispetto al bossolo (modifica in più o in meno della densità di caricamento), dette munizioni devono essere scartate e non impiegate al tiro.

Le armi invece che lanciano proietti oblunghi senza dispositivi di impennaggio devono avere l'anima rigata allo scopo di imprimere al proiettile un velocissimo movimento di rotazione in modo che l'ogiva si mantenga sempre nella direzione della velocità (1).

Nella rigatura gli elementi essenziali da considerare sono: il senso, il profilo, il tracciato.

a) *Il senso.*

Il senso della rigatura è la direzione secondo cui sono inclinate le righe praticate dall'anima (esso può essere destrorso o sinistrorso).

Pur essendo indifferente, ai fini della efficacia della rigatura, che il senso sia destrorso o sinistrorso, è da tener presente che ciò però determina il senso della derivazione, lo spostamento cioè della traiettoria dal piano di tiro. Nelle armi portatili si usa, in genere, dare alla rigatura il senso destrorso per compensare, almeno in parte, la deviazione verso sinistra conseguente alla tendenza che ha il tiratore di inclinare da tale parte il piano di simmetria dell'arma per avvicinare la linea di mira all'occhio.

b) *Il profilo.*

Il profilo è la sagoma della rigatura in un piano perpendicolare all'asse della canna; in esso si distingue un *fondo* concentrico alla canna e 2 *fianchi* in genere paralleli al raggio condotto per il punto medio del fondo (v. fig. 3).

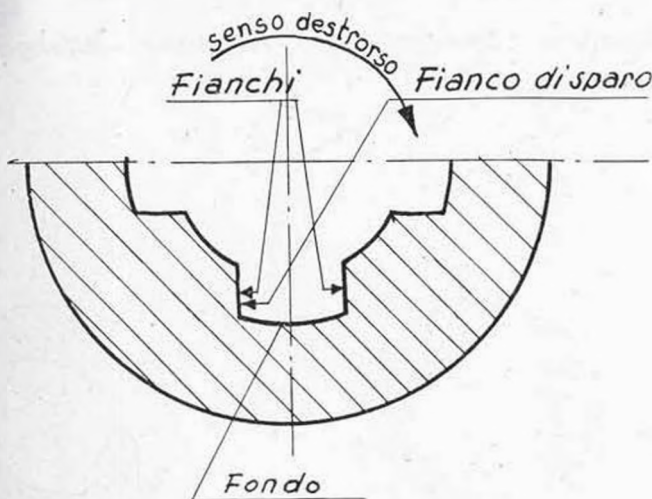


Fig. 3.

Il *fianco di sparo* è quello contro cui il proiettile, appoggiandosi nel

(1) Un terzo sistema per stabilizzare i proiettili in traiettoria è quello attuato nei proietti razzo mercè luci di efflusso inclinate.

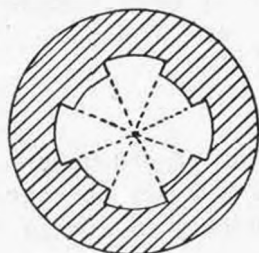
percorrere l'anima, preme maggiormente con le sue parti conduttrici. Esso è quello opposto al senso della rigatura, guardando questa dalla culatta.

Il *controfianco* è quello opposto al fianco di sparo.

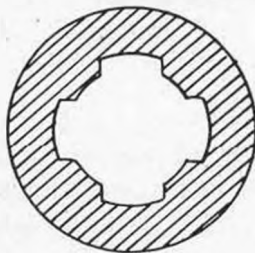
Concetto essenziale è che il profilo deve essere tale da potere impegnare le parti conduttrici del proiettile senza alterarle o deteriorarle; deve perciò essere in funzione del metallo costituente sia la canna che dette parti conduttrici, come delle velocità e delle pressioni che si verificano nell'interno della bocca da fuoco.

In relazione ai suddetti concetti il profilo può essere scelto tra quello convergente al centro, quello convergente all'esterno, quello a sezione rettangolare, quello ad arco (v. fig. 4).

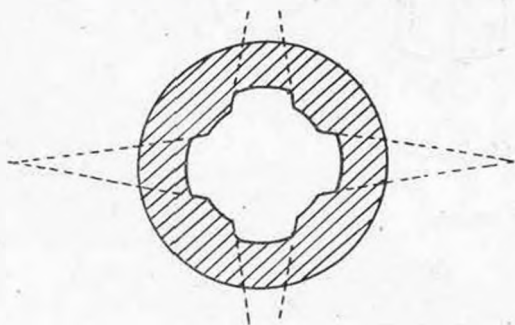
Le caratteristiche di un profilo, da cui dipende la bontà del sistema adottato, ai fini del centramento e del forzamento del proiettile nel suo



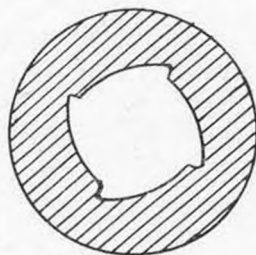
*Rigatura convergente
al centro*



Rigatura Rettangolare



Rigatura convergente all'esterno



Rigatura ad arco

moto lungo l'anima, sono perciò la forma dei fianchi e del fondo della riga, la larghezza e profondità della riga, il numero delle righe.

Una sola riga non assicura la regolarità del moto rotatorio.

Due sole, diametralmente opposte, porterebbero ad un indebolimento della canna o ad un esagerato spessore di questa, poichè dovrebbero essere molto profonde.

Si preferisce perciò avere più righe poco profonde sulle quali meglio si ripartisce la pressione delle parti conduttrici. Il numero delle righe (che si arrotonda generalmente al numero pari immediatamente inferiore) risulta dalla seguente relazione:

$$N = \frac{\pi a}{l_p + l_r}$$

ove:

l_p : è la larghezza del pieno,

l_r : è la larghezza della riga,

a : è il calibro,

π : corrisponde al valore 3,14.

c) Il tracciato.

Il tracciato è lo sviluppo su di un piano della linea direttrice del profilo (v. figg. 5 e 6). Tale linea può essere retta oppure una curva (circolare, para-

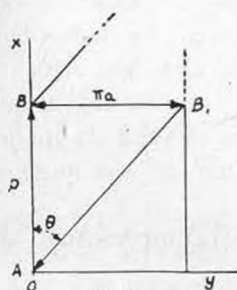


Fig. 5

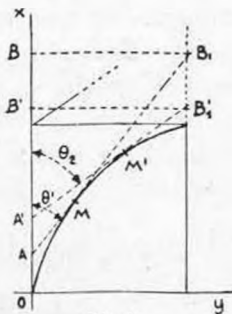


Fig. 6

Fig. 5
Tracciato di
rigatura
elicoidale

πa = calibro $\times$ 3,14

p = passo

θ = inclinazione della riga rispetto
alla generatrice -

Fig. 6
Tracciato di
rigatura pro-
gressiva

θ^1 = inclinazione nel punto M

θ^2 = M'

AB = valore del passo nel punto M

A'B' = M'

corrispondono a quelli di una riga
la cui inclinazione costante fosse
eguale a quella della riga progressiva
nei punti considerati -

bolica o logaritmica) a seconda che l'inclinazione (ϑ) della rigatura sia costante o variabile.

Per inclinazione in un punto della riga si intende il valore dell'angolo acuto (ϑ) formato dalla tangente allo sviluppo nel punto stesso con la generatrice dell'anima.

In una rigatura ad inclinazione costante la distanza AB (v. fig. 5) di una spira dalla successiva, misurata lungo la stessa generatrice, dicesi passo, e poichè il suo valore è dato dalla relazione

$$p = \frac{\pi a}{\operatorname{tg.} \vartheta}$$

ove tutti i termini sono invariabili, il passo è costante e la rigatura dicesi a passo costante o, semplicemente, elicoidale.

In una rigatura avente per tracciato una curva, poichè il valore di ϑ è variabile (v. fig. 6) è evidente che il valore del passo varierà e precisamente diminuirà col crescere di ϑ . Si avrà cioè una rigatura a passo variabile o, semplicemente progressiva.

Il passo viene generalmente espresso in calibri ed è dato dalla relazione

$$n = \frac{p}{a} = \frac{\pi}{\operatorname{tg.} \vartheta}$$

Velocità angolare di rotazione del proiettile.

La velocità angolare di rotazione con la quale il proiettile abbandona la canna deve essere assai elevata specie nelle armi portatili i cui proiettili sono assai lunghi rispetto al calibro, in modo che, non solo la punta del proietto sia sempre rivolta in avanti ma anche il valore dell'angolo (ψ) formato dall'asse del proietto con la direzione della velocità sia molto piccolo, perchè si possano considerare trascurabili gli effetti che tale angolo ha sulla rotazione del proietto stesso.

Il valore della velocità angolare (ω), rappresentato dalla relazione

$$\omega = \frac{2 V \operatorname{tg.} \vartheta}{a} \quad (1)$$

non può però andare oltre un certo limite poichè ciò comporterebbe variazioni della velocità iniziale e dell'inclinazione della rigatura alla bocca del-

(1) Ove:

V = velocità iniziale al 1" espressa in metri;

ϑ = angolo di inclinazione della rigatura alla bocca;

ω = velocità angolare di rotazione al 1" in metri.

Il valore corrispondente al numero dei giri al 1" è dato dalla relazione $N = \frac{V}{p}$ ove N = numero dei giri al 1"; V = velocità iniziale al 1" in metri; p = passo espresso in metri.

l'anima (1) non sempre attuabili in quanto questi elementi devono soddisfare a molteplici altre esigenze.

Detta affermazione è valida sia per la rigatura elicoidale che per quella progressiva, considerando per questa ultima il valore del passo e dell'inclinazione al termine della rigatura.

Da quanto sopra se ne deduce che volendo, ad esempio, determinare la velocità angolare di rotazione del fucile mod. 91 e sapendo che:

$$\begin{aligned}a &= \text{m. } 0,0065 \\p \text{ (finale)} &= \text{m. } 0,20 \\ \vartheta &= 5',50'' \\V &= \text{m. } 700 \text{ al } 1''\end{aligned}$$

dalle due relazioni

$$\begin{aligned}N &= \frac{V}{p} \\ \omega &= \frac{2 V \operatorname{tg.} \vartheta}{a}\end{aligned}$$

si avrà che

$$\begin{aligned}N &= 3500 \text{ giri al } 1'' \\ \omega &= 21980 \text{ m. al } 1''\end{aligned}$$

Influenza della rigatura sul moto del proietto nell'interno dell'anima.

Le righe esercitano, all'inizio del moto del proietto, un'azione di *intaglio* dell'incamiciatura, o della corona del proiettile stesso, in modo da formarne le parti conduttrici e, successivamente, una *resistenza delle righe* per effetto della pressione che si determina tra i fianchi della rigatura e dette parti conduttrici (2).

Il lavoro di intaglio (3), pur esercitandosi per un breve tempo e per un brevissimo tratto, influenza sensibilmente la combustione iniziale della carica e quindi la pressione e la velocità iniziale.

La resistenza all'intaglio è proporzionale al numero ed alla profondità delle righe e dipende dal profilo delle parti conduttrici.

Per quanto invece si riferisce alla resistenza delle righe, se P è la pressione esercitata sul fondello del proiettile ed m è il numero delle righe, su

(1) L'inclinazione finale da dare alle righe si ottiene con soluzioni approssimate in cui i dati teorici, indicati nella relazione espressiva della velocità angolare, sono completati con quelli della esperienza.

(2) La resistenza delle righe è dovuta, in parte, anche alla forza necessaria per imprimere il movimento di rotazione al proiettile.

(3) Il tratto NI del diagramma delle resistenze indicato in fig. 2, rappresenta la massima resistenza dovuta all'intaglio ed alla compressione dell'incamiciatura.

ciascuna riga si esercita una pressione $\frac{P}{m}$. Questa pressione possiamo considerarla scomposta in due forze (v. fig. 7) di cui l'una (S) provoca lo scorrimento lungo la riga e l'altra (R) preme il proiettile contro il fianco di sparo. Quanto più sensibile è l'inclinazione della riga nel punto considerato e quanto più alta è la pressione P , tanto maggiore è questa forza (R) di compressione. Essa tende a rompere i pieni delle righe e a rasare l'incamiciatura del proiettile. E' perciò necessario ridurla al minimo possibile, adottando opportuni accorgimenti.

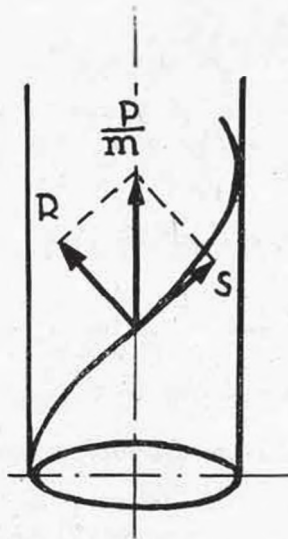


Fig. 7.

Scelta della rigatura.

La scelta della rigatura (elicoidale o progressiva) non è frutto di una preordinata determinazione del progettista, ma è conseguente ad una oculata selezione di tutti gli elementi precedentemente esaminati.

Normalmente il proiettile deve compiere, al massimo, un giro o poco più di un giro nell'anima della canna.

Nelle armi a canna lunga (più di 100 calibri) il proiettile compie poco più di un giro e pertanto è sottoposto ad un lungo tormento di incisione cosicchè potrebbe venirsi a creare uno spazio, tra pareti esterne del proiettile ed interne dell'anima, attraverso cui i gas della carica di lancio potrebbero precipitarsi sopravanzando il proiettile nell'anima con conseguenti disturbi nei riguardi del movimento e perdita di velocità iniziale.

In questo caso la rigatura progressiva evita l'inconveniente poichè oltre a consentire (avendo un andamento di impegno molto dolce) di otte-

nere una pressione di forzamento ridotta e quindi un più graduale manifestarsi della pressione massima, assicura un forzamento continuo del proiettile.

Altro vantaggio della rigatura progressiva è quello di diminuire, in corrispondenza dei maggiori valori di pressione, la citata forza (R) di compressione del proiettile contro il fianco di sparo, in quanto presenta in tale tratto una inclinazione molto attenuata.

Per contro, dando luogo a lavoro totale di attrito maggiore, produce un maggiore logoramento sia delle righe che delle parti conduttrici (1).

Non è pertanto possibile, in relazione ai numerosi elementi del problema, enunciare, a priori, quale sia il tipo di rigatura più conveniente. Essa deve essere in rapporto al tipo d'arma, alla lunghezza del proiettile rispetto al calibro, alla natura dell'esplosivo costituente la carica di lancio, alla velocità iniziale.

Una volta effettuata la scelta del tipo di rigatura, il passo viene generalmente determinato per via sperimentale costruendo varie canne di passo crescente da 25 a 35 calibri e scegliendo il passo con il quale si ottengono migliori risultati di precisione.

Il numero delle righe va in genere da 2 a 6 e la profondità varia tra mm. 0,1 e mm. 0,2.

Alcune armi, come i cannoni senza rinculo, richiedono inoltre l'adozione di particolari accorgimenti connessi alla necessità di:

- mantenere la canna entro spessori e limiti di peso assai ridotti;
- evitare la tendenza alla rotazione per effetto dell'impegno delle parti conduttrici del proiettile nella rigatura.

A tal fine si usano proiettili aventi corone preintagliate; rigatura a passo costante; numerose righe di profondità assai ridotta; inclinazione degli ugelli di fuoruscita posteriore dei gas, tale da neutralizzare l'effetto di avvitatura dato alla canna dal moto del proietto nell'interno dell'anima.

PESO DELLA CANNA.

La canna, indipendentemente dal peso che le deriva dalla natura del metallo costitutivo e dallo spessore che ha in relazione alle pressioni e alle eventuali sovrappressioni cui deve resistere, deve poter concorrere a ridurre l'influenza negativa del rinculo.

Poichè infatti la velocità di rinculo risulta determinata dalla seguente relazione

$$V_r = \frac{(p + d w) V_o}{G}$$

(1) A parità di inclinazione finale detto lavoro di attrito è doppio di quello della rigatura ad inclinazione costante.

ove:

V_r = velocità di rinculo,

p = peso del proiettile,

$d\omega$ = un coefficiente della carica di lancio pari al valore numerico di 2,5 per le piccole e di 2 per le grandi cariche,

V_0 = velocità iniziale,

G = peso della canna

ne consegue che quanto maggiore è il peso della canna, a parità di ogni altra condizione, tanto minore è la velocità di rinculo e quindi il tormento sugli affusti o sulla spalla del tiratore.

Naturalmente, anche per questi elementi altri ne intervengono, come i requisiti di maneggevolezza, trasportabilità, ecc., ad infirmare quanto sopra espresso nel suo valore assoluto.

Direttore responsabile: Colonnello SIRO BERNABÒ

Proprietà letteraria e artistica riservata

Tipografia Regionale - Roma - Piazza Manfredo Fanti, 42

